



# **Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Farmacia y Bioquímica**

**Escuela Profesional de Toxicología**

## **Evaluación del riesgo toxicológico en personas expuestas a suelos con plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima - Perú**

### **TESIS**

**Para optar el Título Profesional de Toxicólogo**

### **AUTORES**

**Christopher Martín YNOCENTE LA VALLE**

**Denisse Sofía OLÓRTEGUI CRISTÓBAL**

### **ASESOR**

**Mesías Moisés GARCÍA ORTIZ**

**Lima, Perú**

**2018**



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Ynocente C, Olórtegui D. Evaluación del riesgo toxicológico en personas expuestas a suelos con plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima - Perú [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Escuela Profesional de Toxicología; 2018.

---



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**  
Universidad del Perú. Decana de América  
**Facultad de Farmacia y Bioquímica**  
**Decanato**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Los Miembros del Jurado Examinador y Calificador de la Tesis titulada:

**"Evaluación del riesgo toxicológico en personas expuestas a suelos con plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima - Perú"**

Que presentan los Bachilleres en Toxicología:

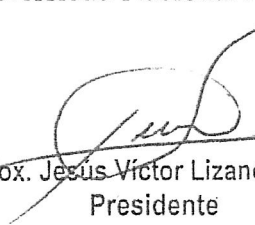
**CHRISTOPHER MARTÍN YNOCENTE LA VALLE Y  
DENISSE SOFÍA OLÓRTEGUI CRISTÓBAL**

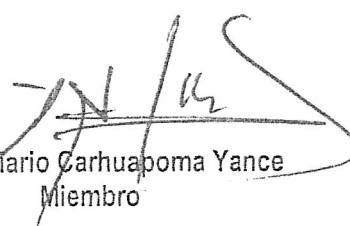
Que reunidos en la fecha se llevó a cabo la **SUSTENTACIÓN** de la **TESIS**, y después de las respuestas satisfactorias a las preguntas y objeciones formuladas por el Jurado, y practicada la votación han obtenido la siguiente calificación:


*Dieciocho (18) Sobre saliente*


en conformidad con el Art. 34.º del Reglamento para la obtención del Grado Académico de Bachiller en Toxicología y Título Profesional de Toxicólogo (a) de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Lima, 17 de diciembre de 2018

  
Q.F. Tox. Jesús Víctor Lizano Gutiérrez  
Presidente

  
Dr. Mario Carhuapoma Yance  
Miembro

  
Mg. Tania Torres Aguilar  
Miembro

  
Mg. José Antonio Llahuilla Quea  
Miembro

**"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"**

Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico - Lima I - Perú

Teléfonos: (511) 328-4737 / (511) 679-7000 anexo 4826 Ap. Postal 4559 - Lima I

E-mail: decanofib@unmm.edu.pe

<http://farmacia.unmm.edu.pe>





---

A mis padres María y Miguel por  
creer en mí y en mis expectativas,  
gracias por haber fomentado en mí el  
deseo de superación y el anhelo de  
triunfo en la vida.

---

*Sofía Olórtgui*

---

A mis padres quienes me enseñaron que la mejor herencia es la educación, siempre llevaré conmigo sus consejos y cada llamada de atención; sin ello no hubiera obtenido este logro. A mi hermano Raúl, mi compañero en Azeroth, y al profesor Miguel Pachas por inspirarme a seguir el camino de la ciencia.

---

*Christopher Ynocente*

## AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestro asesor de tesis, el Dr. Mesías Moisés García Ortiz quien nos orientó y estimuló en todos los aspectos de nuestra tesis y formación profesional. Gracias por todas sus palabras de apoyo, sus valiosos consejos, por el tiempo y paciencia dedicados.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, nuestra *Alma Mater*, a la Facultad de Farmacia y Bioquímica y a la Escuela Profesional de Toxicología por acogernos en sus aulas durante nuestra etapa de pregrado y a cada uno de los docentes que contribuyeron en nuestra formación profesional.

A los colaboradores del área administrativa de la Facultad de Farmacia y Bioquímica por su amabilidad y apoyo brindados.

Al microbiólogo Raúl Jesús Ynocente La Valle, por su apoyo y asistencia técnica para la realización de la presente tesis.

Al economista Miguel Álvaro Olórtégui Cristóbal por su apoyo para la realización del análisis estadístico de la presente tesis.

A los miembros del Jurado por sus acertadas observaciones y contribución dada en diferentes oportunidades para la redacción de la presente tesis.

A los colegas y amigos del Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental – (CICOTOX) por su amable atención y apoyo brindados.

A nuestras familias, quienes nos han acompañado siempre y comparten la alegría de cada logro obtenido.

## **ABREVIATURAS**

<b>As</b>	Arsénico
<b>ATSDR</b>	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
<b>C</b>	Concentración
<b>Ca</b>	Calcio
<b>CAS</b>	Chemical Abstracts Service
<b>Cd</b>	Cadmio
<b>CICOTOX</b>	Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental
<b>Co</b>	Cobalto
<b>Cr</b>	Cromo
<b>Cu</b>	Cobre
<b>DE</b>	Dosis de exposición
<b>DRf</b>	Dosis de referencia
<b>ECA</b>	Estándar de Calidad Ambiental
<b>EPA</b>	Enviromental Protection Agency (United States)
<b>ERSA</b>	Evaluación de Riesgos en la Salud y el Ambiente
<b>Fe</b>	Hierro
<b>FE</b>	Factor de exposición
<b>FPC</b>	Factor potencial de cáncer
<b>g</b>	Gramos
<b>GABA</b>	Ácido gamma-aminobutírico
<b>Hg</b>	Mercurio
<b>IDA</b>	Ingesta diaria admisible
<b>IP</b>	Índice de peligrosidad
<b>K</b>	Potasio
<b>K</b>	Grados kelvin
<b>LOAEL</b>	Lowest observed adverse effect level
<b>ME</b>	Margen de exposición
<b>Mg</b>	Magnesio
<b>mg/Kg</b>	Miligramos por kilogramo (unidad de concentración)

<b>mg/kg/día</b>	Miligramos por kilogramo al día (unidad de dosis)
<b>mg/L</b>	Miligramos por litro
<b>MINAGRI</b>	Ministerio de Agricultura y Riego
<b>MINAM</b>	Ministerio del Ambiente
<b>mL</b>	Mililitros
<b>Mn</b>	Manganeso
<b>Mo</b>	Molibdeno
<b>MRL</b>	Dosis de riesgo mínimo
<b>Na</b>	Sodio
<b>Ni</b>	Níquel
<b>NMDA</b>	Ácido N-metil-D-aspartico
<b>NOAEL</b>	No observed adverse effect level
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>OPS</b>	Organización Panamericana de la Salud
<b>Pb</b>	Plomo
<b>PC</b>	Peso corporal
<b>Pexp</b>	Población expuesta
<b>pH</b>	Potencial de hidrogeniones
<b>RI</b>	Riesgo individual
<b>RP</b>	Riesgo poblacional
<b>S</b>	Azufre
<b>TI</b>	Tasa de ingesta
<b>Tl</b>	Talio
<b>uma</b>	Unidad de masa atómica
<b>UR</b>	Unidad de riesgo
<b>Urb.</b>	Urbanización
<b>V</b>	Vanadio
<b>Zn</b>	Zinc
<b>δ-ALA</b>	Ácido δ aminolevulínico
<b>µg/dL</b>	Microgramos por decilitro (unidad de concentración)

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	13
SUMMARY .....	14
I. INTRODUCCIÓN .....	15
1.1. Objetivos .....	17
1.1.1. Objetivos generales.....	17
1.1.2. Objetivos específicos .....	17
1.2. Hipótesis.....	17
II. GENERALIDADES.....	18
2.1. Evaluación de riesgos toxicológicos .....	18
2.1.1. Metodologías de evaluación de riesgos.....	18
2.1.2. Identificación del peligro .....	20
2.1.3. Análisis de riesgos .....	21
2.1.4. Evaluación de la dosis - respuesta.....	22
2.1.5. Evaluación de la exposición.....	23
2.1.6. Caracterización del Riesgo .....	24
2.1.7. Gestión del riesgo .....	26
2.1.8. Comunicación del riesgo .....	26
2.2. Suelo .....	26
2.2.1. Composición del suelo.....	27
2.2.2. Tipos de suelos .....	28
2.2.3. Contaminación del suelo.....	29
2.2.4. Contaminación de suelos por metales pesados: Plomo y cadmio.....	29
2.3. Plomo y cadmio en Perú.....	31
2.4. Plomo .....	32
2.4.1. Características .....	33
2.4.2. Dinámica ambiental del plomo en el suelo .....	34
2.4.3. Toxicocinética del plomo.....	36

2.4.4.	Toxicodinamia.....	40
2.4.5.	Manifestaciones clínicas.....	41
2.4.6.	Aplicabilidad y fuentes de contaminación .....	44
2.4.7.	Valores referenciales para plomo.....	45
2.5.	Cadmio.....	47
2.5.1.	Características .....	47
2.5.2.	Dinámica ambiental del cadmio en el suelo .....	48
2.5.3.	Toxicocinética .....	50
2.5.4.	Toxicodinamia.....	51
2.5.5.	Manifestaciones clínicas.....	52
2.5.6.	Aplicabilidad y fuentes de contaminación .....	53
2.5.7.	Valores referenciales para cadmio .....	54
2.6.	Áreas de estudio .....	55
III.	METODOLOGÍA DE ESTUDIO .....	56
3.1.	Tipo de investigación .....	56
3.2.	Variables .....	56
3.3.	Población.....	56
3.4.	Técnica de muestreo .....	56
3.5.	Localización de la zona de muestreo .....	58
3.6.	Metodología de evaluación de riesgos toxicológicos.....	60
IV.	PARTE EXPERIMENTAL.....	61
4.1.	Determinación de plomo y cadmio en suelos .....	61
4.1.1.	Determinación del número de muestras .....	61
4.1.2.	Selección de muestras.....	61
4.1.3.	Toma de muestras.....	66
4.1.4.	Análisis de plomo .....	67
4.1.5.	Análisis de cadmio.....	68
4.2.	Caracterización del riesgo .....	68
4.2.1.	Identificación de la ruta de exposición.....	68

4.2.2.	Estimación de la Dosis de Exposición .....	70
4.2.3.	Evaluación del Riesgo .....	72
4.2.4.	Flujograma de la caracterización del riesgo .....	75
V.	RESULTADOS .....	76
5.1.	Determinación de plomo y cadmio en suelos .....	76
5.2.	Comparación de las concentraciones promedio .....	80
5.3.	Determinación de la dosis de exposición.....	83
5.4.	Cálculo del Margen de exposición.....	85
5.5.	Cálculo del Índice de Peligrosidad .....	87
5.6.	Cálculo del riesgo carcinógeno para plomo .....	88
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	90
VII.	CONCLUSIONES .....	95
VIII.	RECOMENDACIONES .....	96
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97
	ANEXOS .....	105



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Etapas de la evaluación de riesgos toxicológicos en humanos.....	20
Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del plomo.....	33
Tabla 3. Valores referenciales de plomo en el ambiente.....	46
Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas del cadmio. ....	48
Tabla 5. Efectos del cadmio según órgano blanco.....	52
Tabla 6. Valores referenciales para cadmio en el ambiente. ....	54
Tabla 7. Número de muestras por área para el Muestreo de identificación.....	57
Tabla 8. Lugares de muestreo en la zona 1: Urb. Carabaylo – Comas.....	62
Tabla 9. Lugares de muestreo en la zona 2: Urb. Villa del Norte – Los Olivos. ....	64
Tabla 10. Valores referenciales de la tasa de ingesta.....	71
Tabla 11. Concentraciones de plomo y cadmio en la Urb. Carabaylo – Comas, 2018.....	76
Tabla 12. Concentración de plomo y cadmio en la Urb. Villa del Norte - Los Olivos.....	77
Tabla 13. Medidas de tendencia central y distribución de las muestras. ....	78
Tabla 14. Análisis estadísticos de las concentraciones de plomo.....	78
Tabla 15. Análisis estadístico de las concentraciones de cadmio.....	79
Tabla 16. Test de diferencias de medidas para la concentración de plomo en la Urb. Carabaylo y Urb. Villa del Norte.....	79
Tabla 17. Test de diferencias de medidas para la concentración de cadmio en la Urb. Carabaylo y Urb. Villa del Norte.....	80
Tabla 18. Concentraciones de Pb y valores referenciales internacionales.....	81
Tabla 19. Concentraciones de Cd y valores referenciales internacionales .....	81
Tabla 20. Datos para el cálculo de la dosis de exposición a suelos con plomo y cadmio en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.....	84
Tabla 21. Dosis de exposición estimada de plomo y cadmio en adultos y niños en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.....	84
Tabla 22. Datos para el cálculo del margen de exposición en suelos con plomo y cadmio en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.....	85

Tabla 23. Margen de exposición para plomo en adultos y niños en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.....	86
Tabla 24. Margen de exposición para cadmio en adultos y niños en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.....	86
Tabla 25. Datos para el cálculo del índice de peligrosidad en adultos y niños en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.....	87
Tabla 26. Índice de peligrosidad para plomo en adultos y niños en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.....	87
Tabla 27. Índice de peligrosidad para cadmio en adultos y niños en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.....	88
Tabla 28. Datos para el cálculo del riesgo carcinógeno individual a plomo en adultos y niños en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018. ....	89
Tabla 29. Riesgo Individual y Riesgo Poblacional carcinógeno en adultos y niños en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de la evaluación y del manejo de riesgos toxicológicos en humanos .....	21
Figura 2. Dosis de referencia.....	22
Figura 3.- Distribución e incidencia de metales en sitios de EE. UU.....	35
Figura 4. Distribución del plomo según el modelo de tres compartimentos .....	37
Figura 5. Modelo biológico del plomo. ....	39
Figura 6. Concentración de plomo en sangre ( $\mu\text{g/dL}$ ). ....	41
Figura 7. Medios de dispersión del plomo.....	45
Figura 8. Vías de exposición al cadmio.....	50
Figura 9. Mapa de la urbanización "Carabayllo" ■ junto al Parque Industrial Infantas.....	58
Figura 10. Mapa de la urbanización "Villa del Norte" ■ junto al Parque Industrial Infantas .....	59
Figura 11. Mapa de las zonas de muestreo ■ junto al Parque Industrial Infantas .....	59
Figura 12. Mapa de los lugares de muestreo en la zona 1: Urb. Carabayllo – Comas.....	63
Figura 13. Mapa de los lugares de muestreo en la zona 2: Urb. Villa del Norte – Los Olivos....	65
Figura 14. Muestras para análisis de plomo y cadmio en suelos.....	67
Figura 15. Concentración de plomo vs estándares referenciales.....	82
Figura 16. Concentración de cadmio vs estándares referenciales .....	83

## RESUMEN

Se realizó el estudio para evaluar el riesgo toxicológico en personas expuestas a suelos con presencia de Pb y Cd en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018. Para ello, se tomó un total de 40 muestras del suelo- 20 muestras en la Urb. Carabayllo y 20 muestras en la Urb. Villa del Norte. El análisis de las muestras se realizó en el Centro de Información y Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental (CICOTOX), empleándose la Espectrofotometría de Absorción Atómica, con flama para Pb y horno de grafito para Cd. Se encontró que las concentraciones de Pb y Cd en la Urb. Carabayllo tuvo una media de 66.97 mg/kg y 0.86 mg/kg; para la Urb. Villa del Norte fue de 51.43 mg/kg y 0.73 mg/kg respectivamente. Los resultados se encontraron dentro de los niveles establecidos en el ECA suelo de Perú, 140 mg/kg para plomo y 10 mg/kg para cadmio. De estas concentraciones se estimó la dosis de exposición en ambas zonas de estudio. En la Urb. Carabayllo, para adultos, se obtuvo una  $DE_{Pb} = 0.000046879$  mg/kg/día y  $DE_{Cd} = 0.0008203825$  mg/kg/día, y para niños, una  $DE_{Pb} = 0.0008203825$  mg/kg/día y  $DE_{Cd} = 0.0000318562$  mg/kg/día. En la Urb. Villa del Norte, para adultos, se obtuvo una  $DE_{Pb} = 0.000036$  mg/kg/día y  $DE_{Cd} = 0.000000509$  mg/kg/día, y para niños, una  $DE_{Pb} = 0.00062996$  mg/kg/día y  $DE_{Cd} = 0.00000891$  mg/kg/día. Las DE nos permitieron calcular el Índice de peligrosidad y el Margen de Exposición. Al evaluar los cálculos se obtuvo un índice con valores por debajo del 1 ( $IP < 1$ ) y un margen con valores muy por encima del 1 ( $ME > 1$ ); esto indicó, según la metodología aplicada de la OPS/OMS para evaluar el riesgo, que en las dos urbanizaciones estudiadas hay un riesgo toxicológico mínimo por exposición a los parámetros analizados en suelos.

**Palabras clave:** plomo, cadmio, metales pesados, suelo, evaluación de riesgos.

## SUMMARY

The study was carried out to evaluate the toxicological risk in people that exists due to exposure to soils with Pb and Cd in two zones near to the Infantas Industrial Park in Los Olivos - Lima (Carabayllo - Comas and Villa del Norte – Los Olivos). To do this, a total of 40 soil samples were taken - 20 samples from the Carabayllo urban area and 20 samples from the Villa del Norte urban area. The analysis of the samples was carried out in the Center for Information and Toxicological Control and Support for Environmental Management (CICOTOX), using the Atomic Absorption Spectrophotometry, with flame for Pb and the graphite furnace for Cd. It was found that the concentration of Pb and Cd in Carabayllo had an average of 66.97 mg/kg and 0.86 mg/kg; for Villa del Norte, it is 51.43 mg/kg and 0.73 mg/kg respectively. The results are within the levels established in the soil ECA of Peru, 140 mg/kg for lead and 10 mg/kg for cadmium. From these concentrations, the exposure dose was estimated in both study areas. In Carabayllo, a  $DE_{Pb} = 0.000046879$  mg/kg/day and  $DE_{Cd} = 0.00000059$  mg/kg/day was obtained for adults, and for children, a  $DE_{Pb} = 0.0008203825$  mg/kg/day and  $DE_{Cd} = 0.0000318562$  mg/kg/day. In Villa del Norte, a  $DE_{Pb} = 0.000036$  mg/kg/day and  $DE_{Cd} = 0.000000509$  mg/kg/day was obtained for adults, and for children, a  $DE_{Pb} = 0.00062996$  mg/kg/day and  $DE_{Cd} = 0.00000891$  mg/kg/day. The DE allows us to calculate the Danger Index and the Exposure Margin. When evaluating the calculations, an index is obtained with values below 1 ( $IP < 1$ ) and a margin with values very over the 1 ( $ME > 1$ ); this indicates, according to the methodology applied by PAHO/WHO to evaluate the risk, that in the two urbanizations studied there is a minimum toxicological risk due to exposure to the parameters analyzed in soils.

**Keywords:** lead, cadmium, heavy metals, soil, risk assessment.

## **I. INTRODUCCIÓN**

En los últimos años el país ha experimentado un constante crecimiento económico como resultado del aprovechamiento de su capital natural. Dicho crecimiento representa un impacto positivo para la economía nacional; pero a la vez, un impacto negativo debido a los efectos adversos en la salud y el ambiente a causa del aumento del tiempo de exposición de las personas frente a las liberaciones de contaminantes al ambiente provenientes de las actividades económicas.

Dichas actividades económicas tienen como finalidad la obtención de productos a partir de insumos; y como parte de este proceso, se generan emisiones, efluentes y residuos sólidos los cuales son liberados al ambiente. Sobre ello, es importante mencionar que la capacidad tóxica de un agente contaminante depende de sus características intrínsecas, de las condiciones del organismo (sexo, edad, genética, etc.) y, especialmente, de la exposición al agente contaminante, tomando en cuenta el tiempo que se está en contacto con el contaminante y la distancia a la fuente de emisión.

En este sentido, las actividades industriales deben desarrollarse en áreas reservadas para la realización de actividades productivas, donde se dispone de infraestructura y equipos adecuados para la actividad. Estos espacios físicos son denominados parques industriales<sup>(1)</sup>.

Así, según el Ministerio de la Producción de Perú, solo en Lima Metropolitana y el Callao, se ubican varias zonas industriales, las más conocidas ubicadas en los distritos de Lomas de Carabayllo, Ate (Huaycán y El asesor), Villa María del Triunfo, Villa El Salvador, Ventanilla, Callao y Los Olivos<sup>(1)</sup>.

Es en este último distrito donde se encuentra el Parque Industrial de Infantas en el que se desarrollan actividades de metalmecánica y fundición a través de las cuales se generan emisiones de plomo, cadmio y zinc. Esta zona industrial se encuentra entre las urbanizaciones de Carabayllo (Comas) y Villa del Norte (Los Olivos).

A lo largo del tiempo, se han reportado casos de contaminación ambiental e intoxicaciones en las poblaciones aledañas a las zonas industriales; como es el caso del distrito de Mi Perú – Callao, el cual fue declarado en Emergencia Ambiental (RM-N°307-2017-MINAM) por contaminación ambiental por plomo<sup>(2)</sup>.

Por esta razón, el objetivo de la presente investigación consiste en la evaluación del riesgo toxicológico en la población expuesta a suelos con plomo y cadmio en las zonas aledañas al Parque Industrial Infantas.

La aplicación de la metodología de evaluación de riesgos responde a un modelo matemático el cual tiene como finalidad determinar la probabilidad de aparición de consecuencias adversas para la salud humana provocadas por la presencia de plomo y cadmio en la zona.

La importancia de la evaluación de los riesgos toxicológicos radica en que nos permite establecer prioridades para ejecutar planes de acción y prevenir impactos en la salud de la población. En ese sentido, uno de los principales retos para nuestro país es que tanto el sector gubernamental, empresarial y sociedad civil trabajemos en la formulación de políticas que conciben a la salud, el medio ambiente y el desarrollo como ejes interdependientes para alcanzar un desarrollo sostenible para beneficio de todos los peruanos.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivos generales**

Evaluar el riesgo toxicológico en personas expuestas a suelos con plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Determinar la concentración de plomo y cadmio en los suelos de los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima - Perú, 2018.
- Caracterizar el riesgo toxicológico en la población expuesta a posibles concentraciones de plomo y cadmio en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima - Perú, 2018.

## **1.2. Hipótesis**

La población alrededor del Parque Industrial Infantas se encuentra expuesta a niveles de plomo y cadmio lo cual representa un riesgo para su salud.



## **II. GENERALIDADES**

### **2.1. Evaluación de riesgos toxicológicos**

Es una metodología que permite estimar la probabilidad de que exista un efecto tóxico en el organismo por causa de un agente químico; es por ello por lo que debe realizarse una evaluación de riesgos que es relevante en la salud pública. La ocurrencia de un efecto tóxico en el organismo depende principalmente de la dosis del contaminante que alcanza el órgano diana, aun así, no se puede dejar de tomar en cuenta otros factores como la variabilidad genética, la edad, la raza, el sexo, la toxicocinética, la toxicodinamia, etcétera y otros factores no biológicos como el estilo de vida, hábitos, entre otros<sup>(3)</sup>.

#### **2.1.1. Metodologías de evaluación de riesgos**

Para el desarrollo de una metodología de evaluación de riesgos se requiere de la información que proporcionan una variedad de disciplinas, principalmente la Toxicología, la Epidemiología y la Ecología<sup>(3; 4)</sup>.

Estados Unidos es el país pionero en el desarrollo de metodologías de evaluación de riesgos y quien mejor las ha diseñado, esto por medio de sus dos agencias: la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) y la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, por sus siglas en inglés)<sup>(5)</sup>. La metodología de la EPA se basa en datos ambientales para estimar un impacto en la salud; la ATSDR, encargada de los riesgos toxicológicos en humanos, cuenta con una metodología considerada como una “evaluación de salud”, es decir evalúa las emisiones de sustancias químicas peligrosas en el ambiente, con la finalidad de estimar el impacto actual o futuro en la salud de una comunidad<sup>(6)</sup>.

La aplicación de las metodologías propuestas por la EPA y de la ATSDR presenta complicaciones para la región de América Latina, esto debido al bajo nivel de información que tienen estos países con respecto al estudio de sitios contaminados<sup>(5)</sup>.

Debido a ello, existe una metodología que combina los puntos clave de los métodos norteamericanos para ser aplicables a la realidad de los países de América Latina; esta metodología es desarrollada y propuesta por dos organizaciones en conjunto, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), por medio de sus oficinas regionales<sup>(5)</sup>.

En el Perú, el Ministerio del Ambiente (MINAM) elaboró, en el 2015, en el marco del DS 002-2013-MINAM que aprueba los estándares de calidad ambiental para suelos, la guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos en la salud y el ambiente (ERSA), para sitios contaminados<sup>(7)</sup>.

Todas las metodologías cuentan con una serie de pasos (Tabla 1), siendo diferentes según la metodología que se vaya a aplicar. En el método OPS/OMS se habla de tres fases: 1) elaboración de la lista de sitios contaminados o potencialmente contaminados, 2) visita e inspección de cada uno de los sitios listados y 3) en los lugares que se consideren de alto riesgo, se realiza la evaluación de la exposición<sup>(5)</sup>.

Tabla 1. Etapas de la evaluación de riesgos toxicológicos en humanos.

<b>Términos</b>	<b>Definición</b>
<b>Identificación del peligro</b>	¿Causará el agente un efecto dado en humanos?
<b>Evaluación dosis - respuesta</b>	¿A cuál dosis aparecerá el efecto?
<b>Evaluación de la exposición</b>	¿Cuáles niveles de exposición existe o podría existir?
<b>Caracterización del riesgo</b>	¿Cuál es la probabilidad de que el riesgo se produzca?

Fuente: Tomado de National Academy of Sciences (NAS). EUA; 1983.

### **2.1.2. Identificación del peligro**

Es la posibilidad de que una sustancia, mezcla de sustancias o procesos que involucran sustancias, bajo ciertas condiciones de producción, uso o disposición, causen efectos adversos en los organismos o en el ambiente, por sus propiedades inherentes y de acuerdo con el grado de exposición; en otras palabras, es una fuente de daño<sup>(6)</sup>.

La identificación de un peligro abarca la recolección y evaluación de la información toxicológica de una sustancia, es decir, los daños que genera en el organismo, además de información sobre su toxicocinética y Toxicodinamia en los órganos, tejidos o células<sup>(8)</sup>.

### 2.1.3. Análisis de riesgos

El análisis de riesgos se divide en dos partes: a) la evaluación del riesgo y b) el manejo del riesgo. La primera usa la información de observaciones científicas para definir los efectos en la salud provocados por la exposición a sustancias, materiales o situaciones peligrosas<sup>(9)</sup>. Este análisis permite dar respuestas a las interrogantes de, ¿existe algún riesgo por la exposición a la sustancia química que se está estudiando?, ¿Cuál es el nivel del riesgo? ¿Cuál es la población que puede verse más afectada? <sup>(8)</sup>.

Para la evaluación de un riesgo debe de contarse con una serie de información como, la recolección de datos de los peligros de la sustancia, la estimación de la dosis de exposición y la relación entre la dosis respuesta; esta información sumada a otros datos como la cinética ambiental o las rutas de exposición, te permiten desarrollar una evaluación completa de riesgo<sup>(8)</sup>.

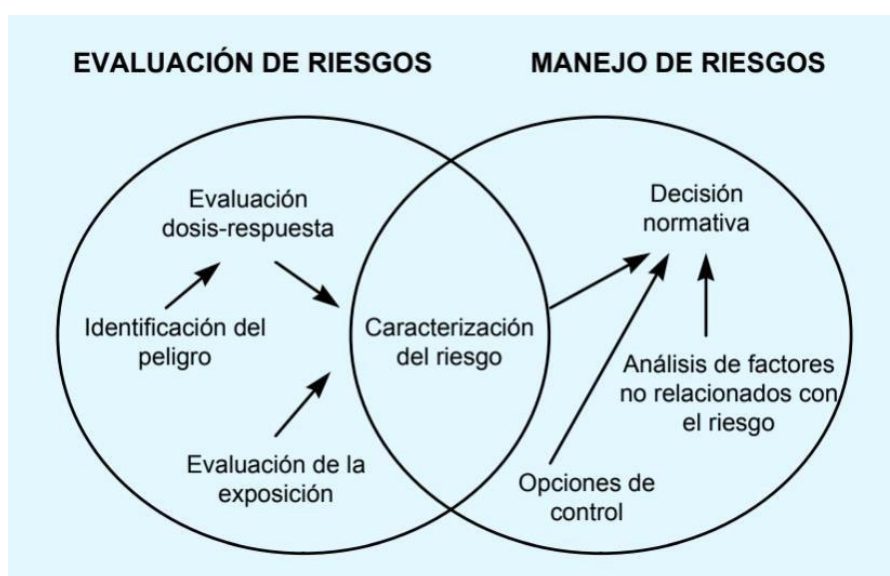


Figura 1. Etapas de la evaluación y del manejo de riesgos toxicológicos en humanos.

Fuente: Tomado de Shaefer M. Combating Environmental Pollution, National Capabilities for Health Protection. World Health Organization. 1991.

### 2.1.4. Evaluación de la dosis - respuesta

En la bibliografía toxicológica se establece una diferencia entre dos curvas, una es la de dosis - respuesta y la otra es la de dosis – efecto. Dosis – respuesta, hace referencia a la relación entre la cantidad de sustancia o contaminante y la cantidad de individuos que presentan un respuesta o efecto de todo o nada. Dosis – efecto, hace referencia a la relación entre la cantidad de sustancia o contaminante y la intensidad o magnitud de los cambios biológicos o fisiológicos en un organismo<sup>(8)</sup>.

Estas curvas nos van a servir para determinar un rango seguro de exposición al que se le conoce como “Dosis de Referencia” (DRf) o la “Ingesta Diaria Admisible” (IDA). Estos datos normalmente provienen de estudios con animales de experimentación. No existe una única curva para cada sustancia o contaminante y su respuesta en el organismo, muy al contrario, puede haber tantas como efectos adversos provoque dicho contaminante, en condiciones distintas<sup>(8)</sup>.

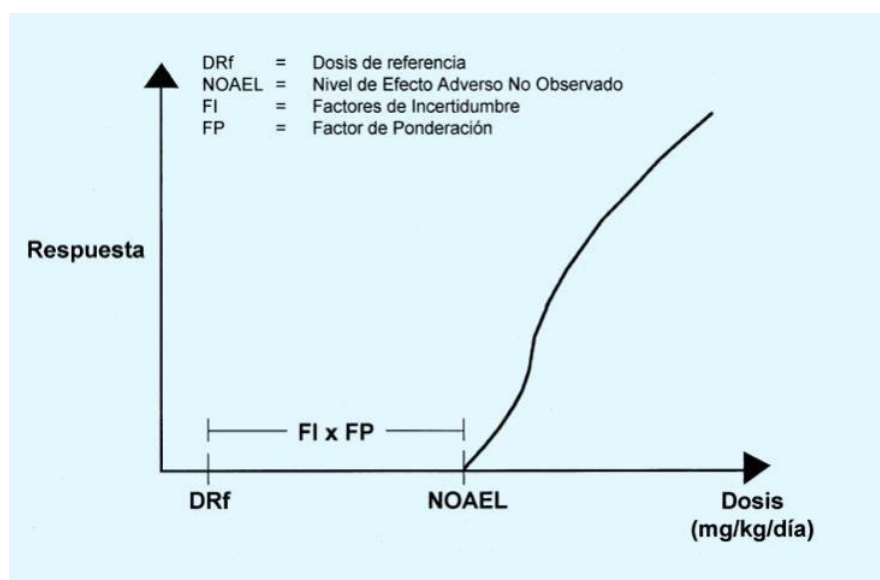


Figura 2. Dosis de referencia.

Fuente: Tomado de ATSDR, 1999.

### **2.1.5. Evaluación de la exposición**

La exposición se refiere al contacto que tiene un contaminante o tóxico específico con un organismo, órgano, tejido o célula diana, en un periodo de tiempo definido<sup>(8)</sup>. La exposición humana puede darse al entrar en contacto con cualquiera de los cuerpos ambientales como el aire, agua o suelo, esto hace que las vías más importantes de exposición sea la inhalatoria, dérmica y digestiva<sup>(10)</sup>.

Una evaluación de la exposición debe de contemplar la naturaleza y las dimensiones de la población que se encuentra expuesta a una sustancia, la magnitud y el tiempo de exposición, y las condiciones en las que se produce la exposición. Se puede decir que la evaluación de la exposición consiste en combinar los datos de exposición con la información de consumo, por medio de un análisis probabilístico<sup>(11)</sup>.

La ruta de exposición es el término con el que se le conoce al proceso que facilita el contacto entre los organismos y las sustancias tóxicas o contaminantes. Toda ruta de exposición se compone de cinco elementos<sup>(8)</sup>:

- a) Fuente: es el origen de las emisiones al ambiente de las sustancias o contaminantes.
- b) Medios ambientales y mecanismos de transporte: los medios ambientales típicos son el aire, agua y suelo, pero pueden ser también los materiales de desecho, aguas subterráneas, subsuelo, sedimentos, etcétera y los mecanismos de transporte hacen referencia al movimiento de los contaminantes a través de los medios ambientales.

- c) Punto de exposición: es el lugar o punto exacto donde un organismo entra en contacto con un medio ambiental contaminado, estos pueden ser los hogares, centros de trabajo, parques, ríos, lagunas, etc.
- d) Vías de exposición: es la ruta por el cual las sustancias o contaminantes ingresan a los organismos, estos pueden ser típicamente la ingestión, la inhalación y la absorción dérmica.
- e) Población receptora: Son el conjunto de individuos que, en el punto de exposición, están expuestos o potencialmente expuestos a las sustancias o contaminantes.

La dosis de exposición es la cantidad de contaminante que es absorbida por la población en estudio, esta dosis de exposición se expresa en mg/Kg/día. La dosis de exposición será comparada con índices o valores de toxicidad adecuados (NOAEL y LOAEL) con lo que se podrá determinar si la exposición, a la que se encuentra la población a estudiar, implica un riesgo para su salud<sup>(11)</sup>.

#### **2.1.6. Caracterización del Riesgo**

El Dr D.H. Duffus, en el Módulo de Capacitación nº3: Evaluación de Riesgos Químicos, define a la caracterización del riesgo de la siguiente manera, “es la evaluación, con o sin modelo matemático, de la probabilidad y naturaleza de los efectos de la exposición a una sustancia, a partir de la cuantificación de las relaciones dosis-efecto y dosis-respuesta para la población y los componentes ambientales que pueden estar expuestos y de la medición de los niveles de exposición potenciales de la población, los organismos y el medio ambiente en riesgo”.

La caracterización de un riesgo se puede realizar para sustancias carcinógenas y no carcinógenas. Sin importar la característica de esta sustancia, primero se evalúa un riesgo individual y a partir de ello se estima el riesgo para toda la población<sup>(8)</sup>.

Para el caso de sustancias no carcinógenas se evalúan tres aspectos importantes: la severidad del efecto, la relación dosis estimada con respecto a la dosis de referencia (RDf) o la dosis de riesgo mínimo (MRL), y la población total expuesta<sup>(11)</sup>.

Diaz Barriga, 1999, clasifica a la severidad del efecto en tres niveles: catastrófico, severo y adverso. Siendo catastrófico cuando se está en riesgo la vida (efectos fatales, daños cardiacos, etc.), severo cuando hay efectos en la salud sin poner en riesgo la vida (función de órganos alterado, daños neurológicos, abortos, efectos en la conducta, etc.), y adversos cuando no se define directamente como una enfermedad, pero se entiende que hay una alteración (irritación de ojos, bajo peso al nacer, actividad enzimática disminuida, etc.)<sup>(11)</sup>.

La relación dosis estimada con respecto al RDf o MRL, denominada por la EPA como índice de peligrosidad, resulta de dividirse la dosis estimada entre el RDf (definido por la EPA) o el MRL (definido por la ATSDR). Mientras mayor sea el valor del índice de peligrosidad, por encima del 1, mayor será el riesgo individual. Otra relación que se puede calcular es entre el NOAEL o el LOAEL y la dosis de exposición, a este valor se le conoce como el margen de exposición. Mientras menor sea el valor del margen de exposición, por debajo del 1, mayor será el riesgo individual<sup>(12)</sup>.

El plomo no cuenta con un NOAEL o RDf, a diferencia del cadmio que si cuenta con un NOAEL que es de 0.01 mg/kg/día por exposiciones crónicas en ingesta de alimentos<sup>(13)</sup>. Debido a que el plomo no cuenta con un NOAEL se recomienda se use el valor de 250 mg/kg/día<sup>(12)</sup>.



Para sustancias carcinógenas, como lo es el plomo, se utiliza el Factor de Potencial Carcinogénico (FPC) el cual es 0.0085 mg/kg/día<sup>(5)</sup>. En el caso del cadmio, no se cuenta con este dato por lo que no se ha calculado el riesgo carcinógeno para este metal.

#### **2.1.7. Gestión del riesgo**

Proceso que se encarga de plantear políticas de prevención y control de los sitios contaminados, basándose en la información proporcionada por la evaluación de riesgos. Este proceso se realiza con la finalidad de proteger la salud de la población expuesta a los contaminantes estudiados<sup>(11)</sup>.

#### **2.1.8. Comunicación del riesgo**

Consiste en brindar información, basada en las evidencias encontradas en la evaluación de riesgos, a los tomadores de decisiones, industrias, ciudadanos, organizaciones, la academia, entre otras partes interesadas<sup>(13)</sup>.

### **2.2. Suelo**

El suelo es la capa superficial de la tierra, es dinámica, por estar en constante cambio, fértil y constituye el medio en el cual se soporta la vida. El suelo tiene un escaso espesor y se ubica en el límite entre la atmósfera y la zona continental de la corteza terrestre. Estas tres, la atmósfera, el suelo y la corteza interactúan entre sí para brindar a los seres vivos los recursos que requieran<sup>(14)</sup>.

El Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) define al suelo como “el material mineral y orgánico, no consolidado, de la capa superior de la tierra, el cual sirve como medio natural para el crecimiento de plantas terrestres. Este material ha sido expuesto a factores ambientales como el clima, los macro y microorganismos, que han actuado sobre la roca madre por cierto periodo de tiempo, para producir un suelo con características propias en su composición física, química, biológica y morfológica”.

El suelo posee características renovables y no renovables por lo que se le considera como un recurso especial. En el país, el suelo es un recurso limitado debido a factores fisiográficos, climáticos, de fertilidad, de salinización, por mal drenaje, entre otros<sup>(15)</sup>.

### **2.2.1. Composición del suelo**

El suelo se compone de tres fases:

- a. **Fase sólida:** Se subdivide en orgánica e inorgánica, la primera compuesta por la materia de los restos de seres vivos en diferentes grados de descomposición y la segunda compuesta por fragmentos de rocas y minerales.
- b. **Fase líquida:** Hace referencia al agua que se encuentra en el suelo y que disuelve las sales minerales y forma los coloides de las arcillas y humus. El agua se encuentra en cavidades conocidas como microporos.
- c. **Fase gaseosa:** Hace referencia al aire que se encuentra en el suelo, este aire tiene una composición equivalente al aire de la atmósfera, pero con una mayor cantidad de dióxido de carbono, debido a las actividades biológicas que allí se dan. El aire se encuentra en cavidades denominadas macroporos<sup>(16)</sup>.

### 2.2.2. Tipos de suelos

Según el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, clasifica a los suelos de la siguiente manera:

- a. **Suelos agrícolas:** dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con actitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas<sup>(17)</sup>.
- b. **Suelo residencial/parques:** suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y esparcimiento<sup>(17)</sup>.
- c. **Suelo comercial:** suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios<sup>(17)</sup>.
- d. **Suelo industrial/extractivo:** suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes<sup>(17)</sup>.

### **2.2.3. Contaminación del suelo**

La contaminación del suelo se da cuando se pierde el equilibrio que posee por el cambio o modificación de los parámetros que lo componen, este desequilibrio negativo se le conoce como degradación. Se habla de contaminación de los suelos cuando la degradación se realiza por la presencia de concentraciones tóxicas de sustancias químicas, compuestos o mezclas (contaminantes)<sup>(18)</sup>.

Los contaminantes, según su origen, pueden ser de dos tipos geogénicos o antropogénicos. Los primeros aparecen naturalmente en el suelo, pudiendo originarse por fragmentación de la roca madre o salir a la superficie por procesos volcánicos. La segunda deriva directamente de la actividad humana, principalmente de la generación de residuos peligrosos<sup>(18)</sup>.

La interacción del hombre con el suelo puede causar desequilibrios debido al uso que le puede dar, actividades como la agricultura, minería y otras actividades industriales en general pueden impactar negativamente en el suelo<sup>(18)</sup>.

### **2.2.4. Contaminación de suelos por metales pesados: Plomo y cadmio**

Los metales pesados son un grupo grande de aproximadamente 40 elementos de la Tabla Periódica, entre metales y metaloides, el cual incluye al mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros. La principal característica es que poseen una densidad mayor o igual a 5 g/cm<sup>3</sup><sup>(19)</sup>.

Muchos de estos elementos son esenciales para el organismo ya que cumplen una función biológica. Tal es el caso del Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn y Mo.

Sin embargo, se ha reportado que a concentraciones elevadas también tienen efectos tóxicos sobre las células, principalmente como resultado de su capacidad para alterar o desnaturalizar las proteínas<sup>(20)</sup>.

Es importante mencionar que los metales pesados poseen una naturaleza no degradable, por lo que se distribuyen en el ambiente gracias a variaciones en su estado de oxidación y/o a su incorporación en los organismos<sup>(21)</sup>.

En el suelo, la toxicidad de los metales pesados puede verse aumentada o disminuida dependiendo de las características que posea el medio; así mismo, la distribución de los metales pesados y su disponibilidad están regidos por las características del medio y las propiedades intrínsecas de cada metal<sup>(22)</sup>.

El plomo puede emitirse directamente al suelo o puede llegar a este por transferencia desde el aire, una vez que el plomo se encuentra en el suelo se une a las partículas del suelo, más específicamente a la materia orgánica del suelo; según el tipo de compuesto de plomo, y de las características del suelo, este metal se puede movilizar hacia fuentes de agua subterránea<sup>(23)</sup> o por escorrentía a fuentes de agua superficiales.

El cadmio, al igual que el plomo, no se degrada en el ambiente y una vez que es emitido al aire pueden viajar largas distancias antes de depositarse en el suelo. El cadmio se adhiere fuertemente a las partículas que componen el suelo, dependiendo de la especie de cadmio es posible que se movilice a los cuerpos de aguas subterráneas<sup>(24)</sup>.

### **2.3. Plomo y cadmio en Perú**

El Perú es un país eminentemente minero, siendo el cuarto país productor de plomo<sup>(25)</sup>. A mayo del 2018, el Perú registró 640 unidades mineras en actividad, entre unidades de explotación metálica y no metálica, y otras 295 unidades en actividades de exploración; destinándose en total de 1 611 731 hectáreas a la actividad minera, lo que representa el 1.25% del territorio nacional<sup>(26)</sup>. Del total del plomo producido, el 65% es utilizado en su forma elemental (plomo metálico) y el 35% restante como compuesto, tanto orgánicos como inorgánicos<sup>(27)</sup>.

La presencia natural de cadmio en el suelo es muy rara, relacionándose su presencia directamente a la actividad antropogénica. Las emisiones de este metal están relacionadas al proceso de obtención de zinc y otras actividades industriales<sup>(29)</sup>.

En el mundo y a través de la historia se han visto numerosos casos de problemas de salud pública por metales pesados. El Perú no es ajeno a esta problemática y se tiene casos de contaminación del ambiente por metales y productos químicos, como los ocurridos en la Oroya con plomo, cadmio y otros metales en el aire y agua; la ciudad de Ilo por la lluvia ácida y presencia natural de arsénico; el Callao por las cantidades de plomo en el aire; Cerro de Pasco por metales como plomo, cadmio, arsénico en el agua; Madre de Dios por mercurio y cianuro en el agua; río Rímac por presencia de arsénico, plomo, cadmio; Puno por metales tóxicos en el agua y desechos de toda índole en el lago Titicaca; Cajamarca y Ancash por plomo, cadmio, arsénico en sus ríos, etcétera<sup>(29; 30)</sup>.

En todas estas ciudades, la actividad principal contaminante es la minería, por lo que se estima que los contaminantes principales son los metales pesados y tóxicos como plomo, arsénico, mercurio, cadmio, cobre, zinc, cromo, vanadio, tungsteno, molibdeno, hierro,

manganeso, cianuros, etc. Especialmente la minería informal contamina con indeterminadas pero grandes cantidades de mercurio y cianuro<sup>(29)</sup>.

También el narcotráfico aporta causales y altos niveles de contaminación ya que las grandes cantidades de ácidos altamente corrosivos y oxidantes, así como de solventes que utilizan, originan la degradación de la materia orgánica al descargar dichos contaminantes a la naturaleza.

Asimismo, causa contaminación el glifosato, herbicida que se usa para controlar los cultivos de coca y que es aplicado por fumigación aérea, lo cual afecta extensas áreas de cultivo, no sólo de coca sino de otros cultivos, de los suelos y las aguas<sup>(29)</sup>.

En el Perú existe el marco normativo para el conocimiento de la contaminación del aire, del agua, pero reducidos documentos para alimentos y nada sobre suelos; además de que algunas de estas normas están obsoletas y precisan de actualización<sup>(29)</sup>.

Este análisis preliminar de la situación actual del ambiente y la regulación de los contaminantes químicos en nuestro país se orienta a identificar las acciones que deben ser planteadas para determinar el nivel de riesgo toxicológico a la que está expuesta la población peruana.

#### **2.4. Plomo**

El plomo (Pb) es un metal gris azulado que aparece en la corteza terrestre de forma natural en pequeñas cantidades. La mayor parte de su emisión proviene de las actividades mineras, industriales y quema de combustibles fósiles.

El plomo es un contaminante ambiental con gran potencial toxicológico debido a su toxicidad intrínseca y a que por años se ha utilizado en la industria con diversos fines<sup>(23)</sup>.

### 2.4.1. Características

El plomo (CAS: 7439-92-1) pertenece al grupo de los metales pesados debido a que posee una alta densidad ( $11.35 \text{ g/cm}^3$ ), su número atómico es 82 y peso atómico de aproximadamente 208 uma. Su color característico es el gris azulado. Es maleable, elástico y fundible a  $327.4^\circ \text{C}$  y su punto de ebullición es de  $1740^\circ \text{C}$ <sup>(31)</sup>.

El plomo es insoluble en agua, y resistente al contacto con el ácido sulfúrico. En soluciones de agua acidificada, con ácidos débiles, tiende a disolverse lentamente; mientras que en agua acidificada con ácido nítrico o soluciones del mismo ácido si es soluble. Produce humos (vapores) metálicos a partir de  $500^\circ \text{C}$ , los cuales son tóxicos ya que penetran a los alvéolos<sup>(32)</sup>. Las propiedades fisicoquímicas del plomo se presentan a continuación:

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del plomo.

Nombre	Plomo
Símbolo	Pb
Número	82
Serie química	Metales del bloque p
Grupo, periodo, bloque	14, 6, p
Apariencia	Gris azulado
Punto de fusión	600,61 K
Punto de ebullición	2022 K

Fuente: Tomado del Lead catión. PubChem. Disponible en:  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/lead#section=Top>.



El plomo es un metal ubicuo ya que se encuentra naturalmente en el ambiente y es liberado al ambiente como emisión por actividades económicas ya que es insumo en la metalurgia, elaboración de tuberías, fabricación de baterías, soldaduras y pinturas, revestimiento de cables, anticorrosivos, imprentas, etcétera<sup>(33)</sup>.

Es así como la presencia de plomo en el aire se puede deber a las emisiones de las fábricas, combustibles de los autos. En zonas industriales en donde se utilizan productos a base de plomo existe mayor presencia del metal, por lo que es necesario un adecuado sistema de depuración de contaminantes<sup>(34)</sup>.

#### **2.4.2. Dinámica ambiental del plomo en el suelo**

El plomo, al igual que otros metales pesados, se encuentra distribuido a lo largo de todo el planeta. Comparado con otros metales, como el mercurio, el plomo es considerado menos toxico, pero debido a ser mucho más abundante en el ambiente, es más probable encontrar intoxicaciones por plomo que por otros metales<sup>(35)</sup>.

Las concentraciones y distribución del plomo en el ambiente tuvieron un gran pico de aumento después de la segunda guerra mundial, cuando se comenzó a utilizarlo como aditivo antidetonante en la gasolina<sup>(36)</sup>.

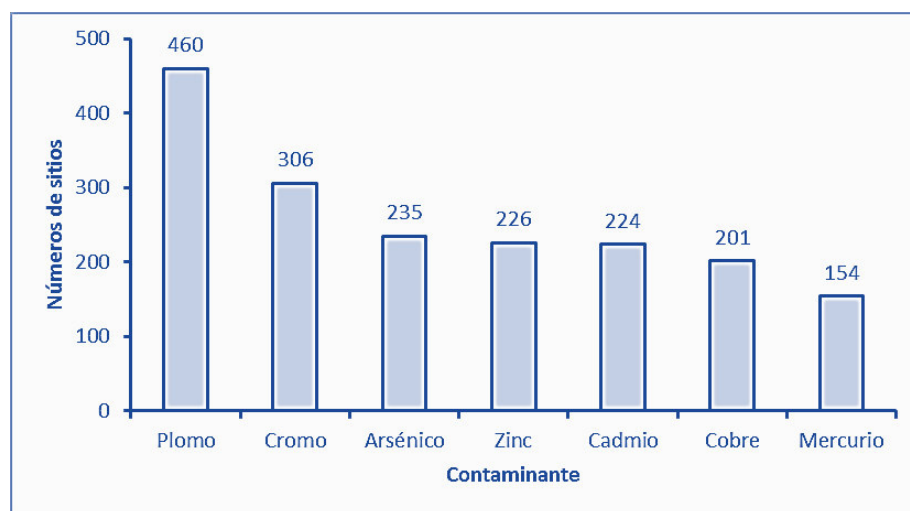


Figura 3. Distribución e incidencia de metales en sitios de EE. UU.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental – Estados Unidos; 1996.

El ciclo del plomo en el ambiente, al igual que muchos metales pesados, inicia en el suelo, dando lugar a la movilización del metal y generando diferentes formas de dispersión<sup>(37)</sup>. Cuando el plomo se emite, por la actividad industrial, se deposita a muy corta distancia de donde fue emitido, a excepción de las partículas de muy pequeño tamaño que pueden permanecer por varias semanas en suspensión y así viajar muchos kilómetros<sup>(36)</sup>.

Cuando el plomo entra en el suelo lentamente se distribuye y reparte entre los componentes de la fase sólida<sup>(38)</sup>, pero su transporte en el suelo depende de los movimientos de agua en su interior<sup>(39)</sup>. Para evaluar la movilidad del plomo en el suelo hay que tomar en cuenta diversos factores entre los más importantes son, el pH, el potencial redox, las fuerzas iónicas, la capacidad de intercambio catiónico, la cantidad de materia orgánica y de arcillas y los mecanismos de reacciones en las esferas internas y externas de los coloides del suelo<sup>(40; 41)</sup>.

La adsorción del plomo en el suelo se da principalmente cuando es de tipo Oxisol, Ultisol y Alfisol, ajustándose adecuadamente al modelo de Langmuir<sup>(41)</sup>.

Así como la adsorción del plomo en el suelo, la distribución de este metal también depende de diversos factores como: pH del suelo, de la mineralogía, de la textura, del contenido de materia orgánica, con respecto al plomo es importante tomar en cuenta la naturaleza del compuesto que es emitido<sup>(42)</sup>.

Los efectos del plomo, sobre el ambiente o la salud de las personas u otros organismos, relacionados con la exposición a suelos dependen principalmente del pH y la concentración de materia orgánica en el suelo. El suelo puede inmovilizar al plomo cuando mayor sea la cantidad de materia orgánica y arcilla, pero si el pH del suelo disminuye el plomo será movilizado y se encontrará más biodisponible<sup>(39)</sup>.

#### **2.4.3. Toxicocinética del plomo**

El plomo ingresa al organismo a través del sistema respiratorio, aproximadamente en un 90%, o del sistema digestivo, de un 5% a 10% en adultos y de un 40% a 50% en niños; no obstante, la absorción percutánea también constituye una vía de ingreso del metal al cuerpo, aunque en una cantidad mínima para el caso del plomo inorgánico; a diferencia del plomo orgánico que si se absorbe bien por esta vía. Después del ingreso del plomo al organismo, este se absorberá dependiendo del tamaño y forma de la molécula, tránsito gastrointestinal, estado nutricional y la edad<sup>(43; 44)</sup>.

Se dice que habrá mayor absorción del metal en las siguientes situaciones: cuando la partícula sea pequeña, si hay deficiencia de hierro y/ o calcio, si hay gran ingesta de grasa o inadecuada ingesta de calorías, si el estómago está vacío y si se es niño, ya que en ellos la absorción de plomo es mayor en niños que en el adulto debido a la gran actividad neuronal<sup>(42)</sup>.

El plomo en el organismo se distribuye en compartimentos como la sangre, tejidos blandos y huesos (Figura 4).

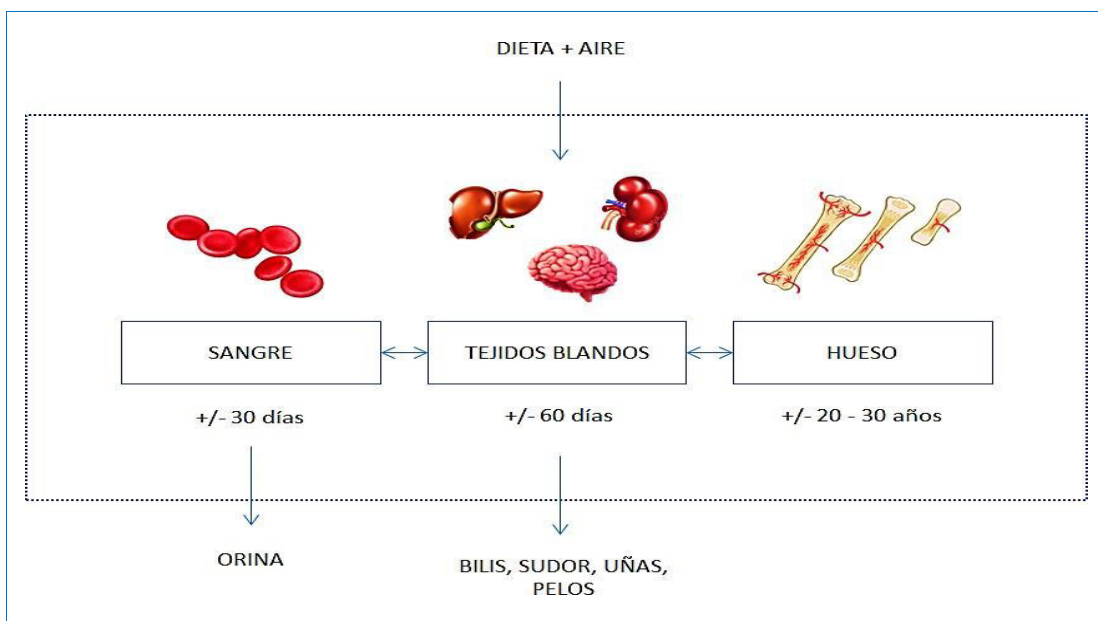


Figura 4. Distribución del plomo según el modelo de tres compartimentos

Fuente: Elaboración propia basado en Ellenhorn (1998).

Se estima que aproximadamente el 95% del plomo circula a través de la sangre unido a los glóbulos rojos para luego distribuirse a los tejidos blandos “target” como el hígado, riñón, médula ósea y sistema nervioso central. Finalmente, este metal se desplaza a los huesos donde es inerte y no tóxico y permanece allí durante 20 o 30 años. No obstante, el plomo puede movilizarse del hueso en determinadas circunstancias como inmovilidad, anemia, embarazo, hipertiroidismo, medicaciones y edad avanzada<sup>(43)</sup>.

Las principales vías de eliminación del plomo son las gastrointestinales y las urinarias, siendo de menor importancia el sudor, la saliva y las faneras<sup>(43,45)</sup>. Por medio de las heces se elimina el plomo, no absorbido, proveniente de la secreción o pérdidas pasivas de plomo como glándulas salivales, páncreas y pared intestinal; pérdidas por

desprendimiento de células epiteliales; y, excreción biliar. Sin embargo, la vía más importante, en términos toxicológicos, es la excreción renal. Algunas estimaciones de vida media oscilan entre los 15 y 27 años en adultos<sup>(45)</sup>.

Para comprender la cinética de excreción del plomo se requiere de un modelo metabólico complejo. Actualmente, se tiene uno que involucra cuatro compartimientos: 1) De intercambio rápido: Sangre; 2) De intercambio medio: piel, órganos internos y músculos; 3) De intercambio lento: huesos planos (fracción intercambiable) y diáfisis de huesos largos; y, 4) De intercambio muy lento: extremos de huesos largos<sup>(45)</sup>.

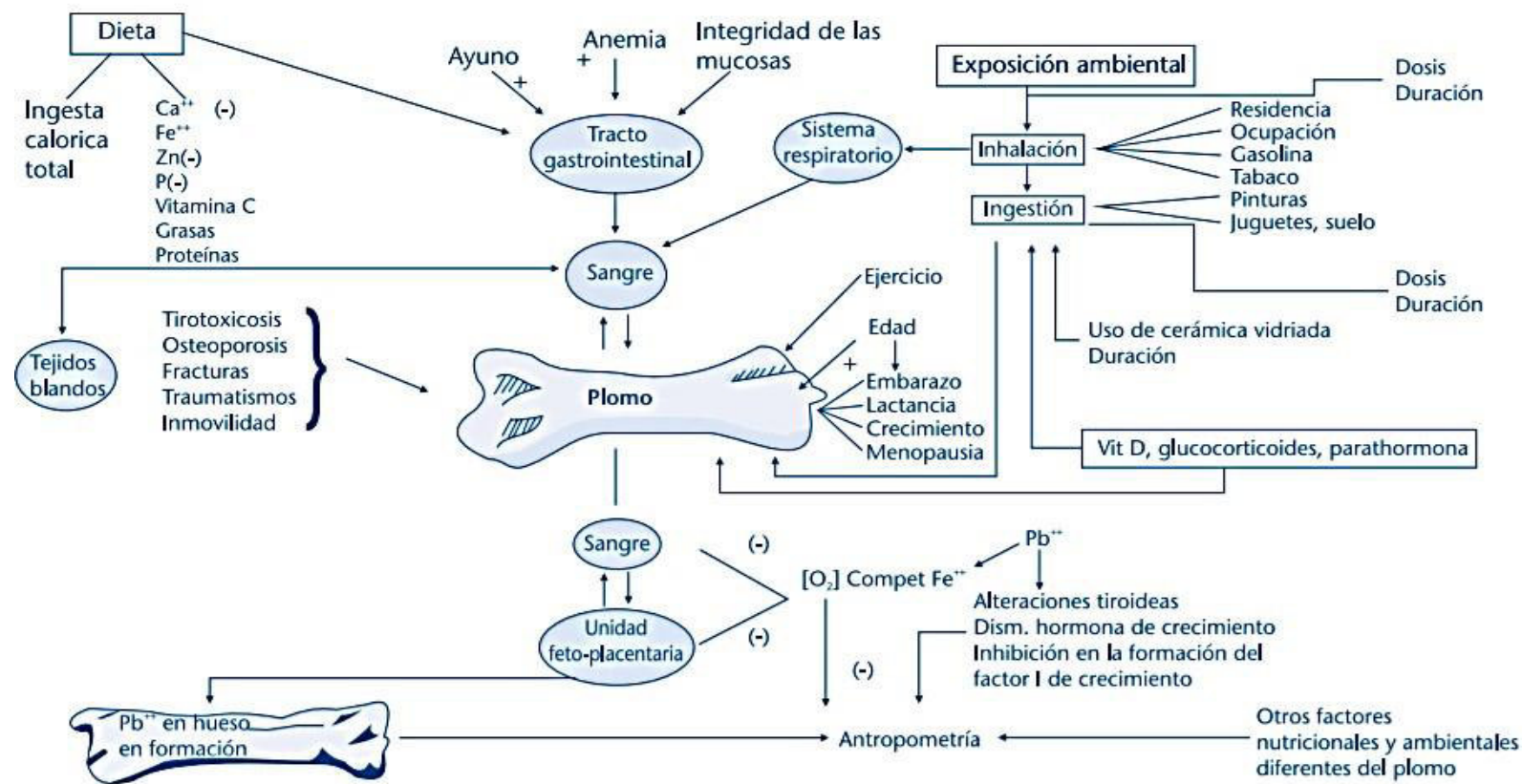


Figura 5. Modelo biológico del plomo.

Fuente: Tomado de Sanin, Helena y cols. Acumulación del plomo en huesos y sus efectos en la salud. Salud Pública Mex 1998; 40:359-368.

#### **2.4.4. Toxicodinamia**

El plomo (es un tiol privus) debido a su gran afinidad por los grupos sulfhidrilo (-SH) de las proteínas, especialmente por las enzimas que tienen al zinc como cofactor<sup>(43)</sup>.

El mecanismo de acción es complejo; en primer lugar, el plomo interfiere con los sitios de unión entre las proteínas y el calcio, y también con el zinc. La interferencia se debe a que el plomo al ser un catión divalente y tener características similares a la del calcio le permite entrar en contacto, con los sitios activos, de forma similar como lo haría el ión nativo, en estos sitios se encuentran principalmente los aminoácidos aspartato y glutamato. Cuando el calcio se une a las proteínas estas adoptan una configuración espacial esférica a su alrededor; al unirse las proteínas al plomo la configuración espacial es distinta, esto debido a que tiene una configuración electrónica diferente a la del calcio. La unión del plomo a estos sitios genera una activación y función anormal<sup>(46)</sup>.

Esta capacidad del plomo de sustituir al calcio, y otros cationes divalentes, en la maquinaria molecular, hacen que el plomo pueda abarcar casi la totalidad del medio celular, y muchos tejidos y órganos<sup>(46)</sup>, unos ejemplos del mecanismo del plomo son:

- a. Reemplaza al calcio y se comporta como un segundo mensajero intracelular, y altera la distribución del calcio en los compartimentos en el interior de la célula<sup>(43)</sup>.
- b. Activa la proteinquinasa C, una enzima que depende del calcio y que interviene en múltiples procesos intracelulares<sup>(43)</sup>.
- c. Compite con el calcio por la calmodulina, proteína reguladora de la concentración de calcio<sup>(43)</sup>.

- d. Inhibe la bomba de Na-K-ATPasa, lo que incrementa la concentración del calcio intracelular<sup>(43)</sup>.
- e. A nivel renal interfiere con el metabolismo de la vitamina D debido a que interfiere con su activación<sup>(43)</sup>.

### 2.4.5. Manifestaciones clínicas

Los órganos más susceptibles a los efectos tóxicos por una exposición aguda al plomo son el sistema nervioso central, sistema hematológico y cardiovascular; mientras que el sistema gastrointestinal, renal, neuromuscular y hematopoyético son los más afectados por una exposición crónica al plomo<sup>(47)</sup>.

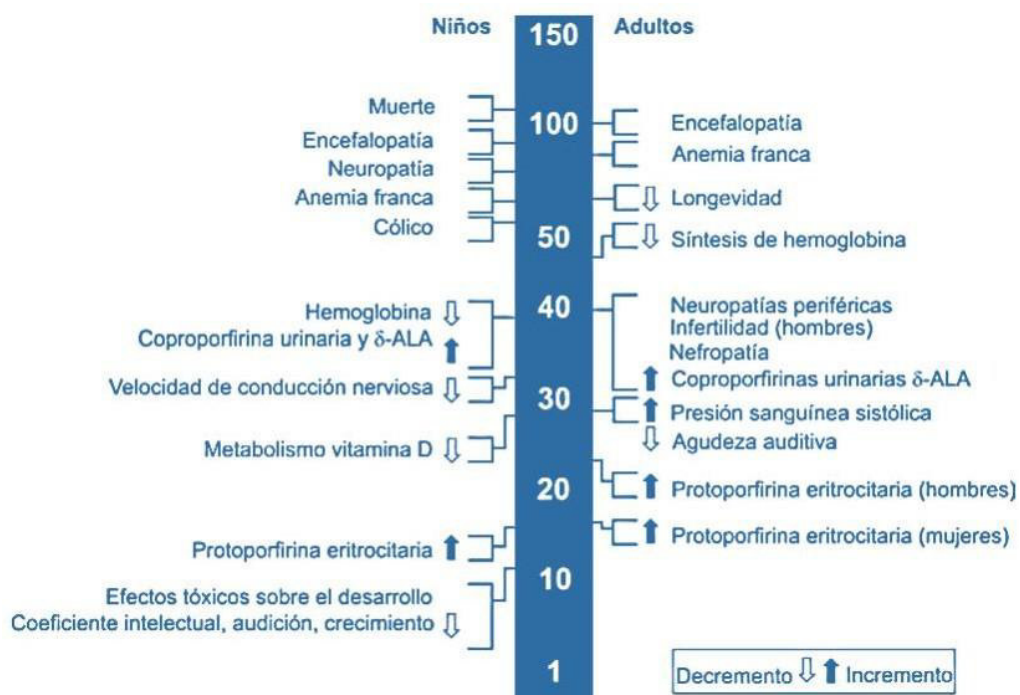


Figura 6. Concentración de plomo en sangre ( $\mu\text{g/dL}$ ).

Fuente: Mecanismos celulares y moleculares de la neurotoxicidad por plomo, 2005.



La figura 6 esquematiza la correlación entre distintos niveles de plomo en sangre ( $\mu\text{g/dL}$ ) con las diferentes alteraciones patológicas que se presentan tanto en niños como en adultos. Del cuadro se deduce que los efectos más graves y con aparición temprana se manifiestan en los niños. Los efectos más graves del plomo se presentan a nivel del Sistema Nervioso en desarrollo por lo que la intoxicación en niños puede repercutir en sus capacidades motoras y cognitivas<sup>(48)</sup>.

Se han reportado cuadros de lectura deficiente, discalculia, alteraciones en la memoria a corto plazo y en la visión con una concentración de plomo en sangre de  $2.5 \mu\text{g/dL}$ <sup>(48)</sup>.

#### **a. Neurotoxicidad**

Los efectos más severos del plomo ocurren a nivel del sistema nervioso, más aún cuando se encuentra en desarrollo, esto hace que la población de mayor riesgo sean los niños, produciéndose efectos motores y cognitivos<sup>(49)</sup>. Se estima que en los niños puede ocurrir una reducción de 2 a 4 puntos en su coeficiente intelectual por cada  $\mu\text{g/dL}$  de plomo que se incrementa en la sangre, dentro de los niveles de 5 a  $35 \mu\text{g/dL}$ <sup>(50)</sup>. Un hallazgo interesante, y a la vez preocupante, es la que relaciona el plomo con trastornos conductuales, tales como conductas violentas en niños que sufrieron intoxicación por plomo; en el estudio se observó un marcado aumento en la agresividad e impulsividad, y el desarrollo de déficits de atención. Muchos investigadores indican que existe una correlación entre los niveles de plomo en una persona y la criminalidad<sup>(51)</sup>.

El plomo puede causar daños por diferentes mecanismos de acción, entre los que se pueden mencionar la peroxidación de lípidos; la excitotoxicidad; las alteraciones en la síntesis, almacenamiento y liberación de neurotransmisores; la expresión y funcionamiento de receptores; alteraciones en la mitocondria; interferencia con segundos mensajeros; daños a células cerebrovasculares, la astrogliá y la oligodendroglía,

provocando efectos negativos en la mielinización; interferencia con los receptores NMDA (N-metil-D-aspartato) y en la síntesis del  $\delta$ -ALA (ácido  $\delta$ -aminolevulínico), inhibiendo la neurotransmisión por GABA (ácido gamma amino butírico)<sup>(52)</sup>. Hay evidencias de que a pesar de que el plomo ingresa a todos los tejidos del organismo, son algunos componentes del sistema nervioso central los que sufren más daño después de una exposición, especialmente el hipocampo<sup>(53)</sup>.

#### **b. Toxicidad en el sistema óseo**

El plomo produce diferentes efectos en el sistema óseo, tanto de humanos como animales. Los efectos más comunes son las perturbaciones en el desarrollo, formación y reabsorción del hueso<sup>(54)</sup>.

En comparación con otros órganos o tejidos diana, como el sistema nervioso o el hematológico, el sistema óseo es el más sensible al plomo. El plomo puede atravesar la placenta. En estudios realizados en ratones, ratas y hámsteres se asoció la intoxicación por plomo con malformaciones óseas al nacimiento<sup>(54;5)</sup>.

El metabolismo del plomo en las células óseas no se puede revisar independientemente del metabolismo en la matriz mineral ósea. De hecho, el problema, tanto experimental como conceptual, es caracterizar uno en presencia del otro y determinar la contribución relativa de los procesos biológicos y químicos al metabolismo del plomo en los huesos<sup>(56)</sup>.

En los huesos, el plomo desplaza fácilmente al calcio mediante procesos de intercambio catiónico en los cristales de hidroxiapatita, tanto en la natural como en la sintética, ocupando los dos sitios de calcio en la red cristalina<sup>(56)</sup>.

Es cierto que muchos de los mecanismos de acción del plomo no están bien definidos, pero es importante reconocer la importancia toxicológica de la acumulación de plomo en los huesos.

Una de las razones es que el hueso funciona como reservas de plomo el cual es liberado nuevamente al organismo en estados fisiológicos y patológicos en los que aumenta la resorción ósea, como lo es el embarazo, la lactancia, cuadros anémicos, inmovilidad, etcétera, provocando efectos adversos en otros tejidos u órganos<sup>(57)</sup>.

### **c. Hematotoxicidad**

El plomo interfiere en diversos puntos del proceso de biosíntesis del grupo hem, produciendo también, deficiencias en las enzimas hidratasa del ácido aminolevulínico (ALA-D) y la hierroquelasa. Con respecto a lo último, este mecanismo estaría impidiendo la incorporación del hierro a la protoporfirina hem precursora, que se concentra en el eritrocito en desarrollo. Una técnica, usada tiempo atrás, para la determinación de la intoxicación por plomo consistió en la medida de la protoporfirina eritrocítica (conocida como protoporfirina del zinc cuando se medía con un hematofluorómetro portátil). Sin embargo, puesto que es imposible detectar los niveles elevados de protoporfirina eritrocítica, atribuibles a la intoxicación por plomo, cuando los niveles de plomo en sangre rondan de 25 a 30  $\mu\text{g/dl}$ , por lo que esta prueba no resultó ser lo suficientemente sensible como para detectar niveles de plomo en sangre que hoy en día se consideran elevados<sup>(58)</sup>.

### **2.4.6. Aplicabilidad y fuentes de contaminación**

El plomo ha sido utilizado como materia prima para diversos fines debido a su alta densidad, ductilidad y poca reactividad química; así como su fácil extracción, relativa abundancia y bajo costo. Usos: Elaboración de medicina, pintura, fabricación de tuberías,

aleaciones para soldadura, almacenaje de reactivos químicos, baterías eléctricas, protección contra radiaciones ionizantes y como aditivo antidetonante en la gasolina<sup>(27)</sup>.

#### 2.4.7. Valores referenciales para plomo

Es importante mencionar que el plomo no desempeña ninguna función en el organismo por lo que se entiende que su concentración en sangre idealmente debería ser cero. Sin embargo, debido a las diferentes fuentes de exposición, es imposible encontrar algún medio y/u organismo sin plomo ya que este ingresa al organismo (Figura 7)<sup>(57)</sup>. No obstante, se han establecido los valores referenciales de plomo los cuales se analizan según el medio en el que se distribuya (Tabla 3).

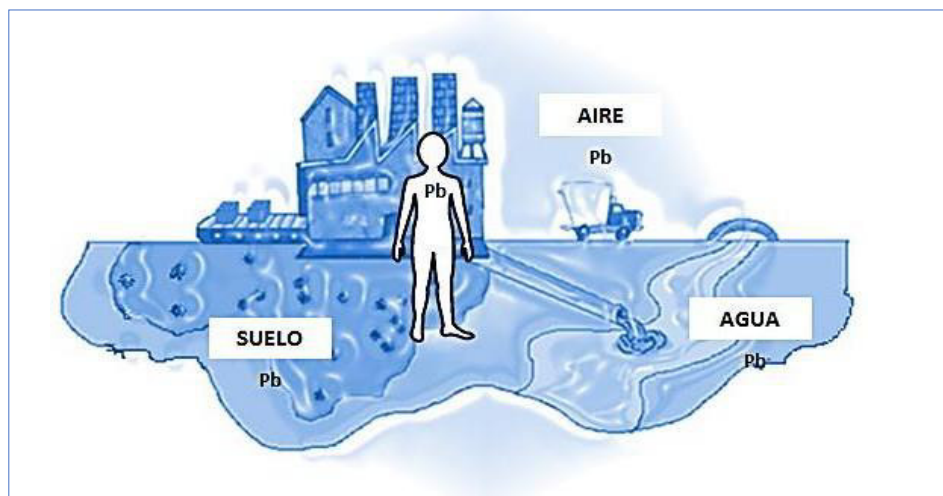


Figura 7. Medios de dispersión del plomo.

Fuente: Elaboración propia, basado en Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo, 2002.

Tabla 3. Valores referenciales de plomo en el ambiente.

[ ] Pb en el ambiente	ECA suelo DS-011-2017-MINAM	70 mg/Kg (Uso de suelo agrícola)
		140 mg/Kg (Uso de suelo residencial/ parques)
		800 mg/Kg (Uso de suelo comercial/ industrial/ extractivo)
	ECA aire DS-003-2017-MINAM	0,5 µg/m <sup>3</sup>
	ECA agua DS-004-2017-MINAM (categoría 1: poblacional y recreacional)	0.01 µg/m <sup>3</sup> (A1)
		0.05 µg/m <sup>3</sup> (A2)
		0.05 µg/m <sup>3</sup> (A3)

Fuente: Ministerio del Ambiente.

A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

## **2.5. Cadmio**

El cadmio se encuentra en el ambiente en muy pequeñas cantidades, considerándolo dentro del grupo de elementos ultratraza. Este metal, al igual que el plomo, es un elemento al que no se le conoce función biológica en el organismo humano<sup>(59)</sup>.

Se obtiene cadmio como subproducto del procesamiento de metales como el zinc y el cobre, acumulándose en el ambiente como resultado de los procesos industriales<sup>(60)</sup>. Se ha estimado que, a nivel mundial, el uso de cadmio por actividades industriales se ha incrementado de 18400 toneladas a 20400 toneladas, del 2003 al 2007<sup>(61)</sup>.

Las intoxicaciones por plomo y cadmio son consideradas como un problema de salud pública en muchos países<sup>(59)</sup>.

### **2.5.1. Características**

El cadmio (CAS 7440-43-9) es un metal pesado que forma parte del grupo IIB de la Tabla periódica, con un peso atómico de 112.41 uma<sup>(62)</sup>. En su forma metálica es blando, de color plateado, dúctil y maleable. Cuando se calienta se combina con azufre, fósforo, oxígeno y halógenos, además se disuelve en ácidos<sup>(28)</sup>. Sus propiedades fisicoquímicas se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas del cadmio.

Nombre	Cadmio
Símbolo	Cd
Número	48
Serie química	Metales del bloque d
Grupo, periodo, bloque	12, 5, d
Apariencia	Blanco argentino
Punto de fusión	593.9 K
Punto de ebullición	1038 K

Fuente: Tomado de Cadmium. Pubchem. Disponible en:

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/cadmium>

El comportamiento del cadmio, en términos químicos, se asemeja mucho al del zinc, pero tiende a tener una mayor afinidad al azufre y una mayor movilidad en ambientes con pH ácidos. El cadmio se encuentra en el ambiente con un estado de oxidación de +2, gracias a esto, cuando se encuentra en solución forma especies químicas como el  $\text{CdCl}^+$ ,  $\text{CdOH}^+$ ,  $\text{CdHCO}_3^+$ ,  $\text{CdCl}_3^-$ ,  $\text{CdCl}_4^{2-}$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_4^{2-}$  y quelatos orgánicos<sup>(57)</sup>. Con respecto a su solubilidad en el agua esta es muy variable; en forma de halogenuros, sulfatos y nitratos es soluble, mientras que en forma de óxidos, hidróxidos y carbonatos son prácticamente insolubles<sup>(63)</sup>.

### 2.5.2. Dinámica ambiental del cadmio en el suelo

La presencia de cadmio en el suelo puede darse por forma natural, a lo que se le conoce como cadmio geogénico o de forma antropogénica, por medio de las emisiones al ambiente de las actividades humanas. El cadmio puede ser emitido al suelo o puede llegar a este por medio de la precipitación atmosférica<sup>(64)</sup>.

La dinámica del cadmio cuando este llega al suelo depende de las reacciones químicas y de los diferentes procesos tanto físicos como biológicos que se den en el suelo.

La interacción que se dé entre el suelo (cada uno de sus diferentes componentes) y el cadmio determinan las reacciones de adsorción, precipitación o formación de complejos a producirse en este medio<sup>(65)</sup>.

Se conoce que la toxicidad de los metales pesados está directamente relacionada con el pH del suelo, especialmente la toxicidad para las plantas, fitotoxicidad<sup>(66)</sup>. La adsorción del cadmio en el suelo depende significativamente de la mineralogía del suelo, el pH y la cantidad de materia orgánica en el suelo<sup>(67)</sup>. Por otra parte, la movilidad del cadmio en el suelo es mayor en suelo de tipo no calcáreo en comparación con los suelos calcáreos. En resumen, la toxicidad del cadmio depende de que tan móvil y biodisponible sea, y ambas aumentan cuando el pH es ácido o cuando disminuye la concentración de materia orgánica<sup>(65;68)</sup>.

El aumento del pH del suelo provoca que el cadmio precipite, esto especialmente en suelos calcáreos, en forma de carbonatos; pero pudiendo precipitar también en forma de fosfato. Esto disminuye la biodisponibilidad de cadmio para las plantas, generando que se asimile menor cantidad de cadmio. Se plantea que por cada unidad en la que aumenta el pH, disminuye 1.5 veces la adsorción del metal<sup>(69)</sup>.

Si bien la cantidad de materia orgánica en el suelo puede retener al cadmio y disminuir su biodisponibilidad, hay que tomar en cuenta que la descomposición de la materia orgánica puede acidificar el suelo por medio de la formación de ácidos orgánicos, lo cual genera una acidificación del medio aumentando la biodisponibilidad del cadmio<sup>(70)</sup>.



### 2.5.3. Toxicocinética

El ingreso del cadmio al organismo se realiza a través de dos vías: la oral, a través del agua e ingesta de comida contaminada con cadmio (hojas de vegetales, granos, cereales, frutas, vísceras animales y pescado). La segunda vía de ingreso es a través de la inhalación de partículas de cadmio durante las actividades industriales<sup>(71)</sup>.

En la población general, la inhalación es principalmente debida al humo de cigarro que contiene cadmio; la exposición e inhalación del humo de cigarro en fumadores activos y pasivos es considerado altamente peligroso ya que el cadmio se absorbe fácilmente por los pulmones<sup>(71)</sup> (Figura 8).



Figura 8. Vías de exposición al cadmio.

Fuente: Elaboración propia basado en Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos, 2002.

En humanos y otros mamíferos la absorción del cadmio se lleva a cabo a través de un proceso similar al de la absorción de metales esenciales como el hierro y zinc.

La absorción del cadmio se potencia en cuadros de deficiencias de calcio y hierro en la dieta o dietas bajas en proteínas<sup>(43)</sup>.

El cadmio es transportado por la sangre y distribuido inicialmente al hígado y al riñón y tiene una vida media de 10 a 30 años en humanos<sup>(72)</sup>.

#### **2.5.4. Toxicodinamia**

El mecanismo molecular a través del cual el cadmio ejerce su acción no es completamente conocido. No obstante, Augusto Ramírez en los Anales de la Facultad de Medicina, explica que la acción tóxica del cadmio se debería a su afinidad por radicales de los grupos –SH, –OH, carboxilo, fosfatil, cisteinil e histidil y a su acción competitiva con otros elementos funcionalmente esenciales,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ , y  $\text{Ca}^{+2}$ <sup>(71)</sup>.







Sus principales interacciones serían<sup>(44)</sup>:

- Unión fuerte del  $\text{Cd}^{+2}$  a los grupos –SH de las proteínas intracelulares, que inhibiría las enzimas que poseen estos grupos.
- Desplazamiento del  $\text{Zn}^{+2}$  a los enlaces -S- y la consiguiente alteración enzimática y de sus procesos bioquímicos que se refleja en su deficiencia relativa.

### 2.5.5. Manifestaciones clínicas

El cadmio es un xenobiótico y no esencial para el organismo, debido a ello una intoxicación crónica puede generar las siguientes manifestaciones en el organismo<sup>(71; 72; 73)</sup>:

Tabla 5. Efectos del cadmio según órgano blanco.

ÓRGANO	EFFECTOS EN LA SALUD
	Disfunción glomerular Síndrome renal (proteinuria) Insuficiencia renal
	Edema cerebral Picnosis Hemorragias Necrosis cerebral
	Hipertensión arterial Daño a paredes de arterias
	Enfisema pulmonar Síndrome de disfunción pulmonar que incluye: Irritación de las vías respiratorias, fibrosis pulmonar.
	Síndrome óseo: Itai Itai, osteomalacia, descalcificación, deformaciones óseas, fracturas espontáneas, lumbalgia, parestesias y neuralgias, entre otros.
	Alteraciones hepáticas

Fuente: Anales de medicina - UNMSM, 2002.

### **2.5.6. Aplicabilidad y fuentes de contaminación**

Los principales usos y aplicaciones del cadmio o sus compuestos son:

- Como pigmento en pinturas, esmaltes, plásticos, textiles, vidrios, tintas de impresión, caucho, lacas, etcétera<sup>(71)</sup>.
- En aleación con cobre, aluminio y plata<sup>(71)</sup>.
- En la producción de pilas de cadmio-níquel<sup>(71)</sup>.
- Como estabilizador de termoplásticos, como el PVC<sup>(71)</sup>.
- En fotografía, litografía y procesos de grabado<sup>(71)</sup>.
- Como “endurecedor” de ruedas y llantas de automóvil<sup>(71)</sup>.
- En fabricación de foto - conductores y células solares fotoeléctricas<sup>(71)</sup>.

### 2.5.7. Valores referenciales para cadmio

Tabla 6. Valores referenciales para cadmio en el ambiente.

[ ] Cd en el ambiente	ECA suelo DS-011-2017-MINAM	1.4 mg/Kg (Uso de suelo agrícola)
		10 mg/Kg (Uso de suelo residencial/ parques)
		22 mg/Kg (Uso de suelo comercial/ industrial/ extractivo)
	ECA aire DS-003-2017-MINAM	-
	ECA agua DS-004-2017-MINAM (categoría 1: poblacional y recreacional)	0.003 µg/m <sup>3</sup> (A1)
		0.005 µg/m <sup>3</sup> (A2)
		0.01 µg/m <sup>3</sup> (A3)

Fuente: Ministerio del Ambiente.

A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

## 2.6. Áreas de estudio

Las áreas de estudio corresponden a las urbanizaciones Carabayllo (Comas) y Villa del Norte (Los Olivos), por ser zonas aledañas al Parque Industrial Infantas. Debido a esto, ambas zonas se encuentran expuestas a las emisiones provenientes de las actividades económicas de metalmecánica, fundición, fabricación de transformadores y empresas calcáreas. Asimismo, se suman las emisiones generadas por el parque automotor, debido a que la Urb. Carabayllo colinda con la avenida Tupac Amaru y la Urb. Villa del Norte, con la carretera Panamericana Norte. De las emisiones generadas la presente investigación se enfocó en el plomo y el cadmio por su importancia toxicológica.

- a) **Urbanización Villa del Norte:** Ubicada en el distrito de Los Olivos. Delimitada por las avenidas Naranjal, Las Palmeras y la carretera Panamericana Norte. Cuenta con una población aproximada 15052 habitantes.
- b) **Urbanización Carabayllo:** Ubicada en el distrito de Comas. Delimitada por las avenidas El Maestro Peruano, Rosa de América, Naranjal y Tupac Amaru. Cuenta con una población aproximada de 5200 habitantes.

### **III. METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

#### **3.1. Tipo de investigación**

El estudio realizado se constituye en un diseño descriptivo, cuasi experimental, analítico, prospectivo de corte transversal, realizada en la población que habita en los alrededores del Parque Industrial Infantas.

#### **3.2. Variables**

**321. Variable dependiente:** Niveles de riesgo toxicológico en la población expuesta a suelos contaminados por plomo (Pb) y cadmio (Cd).

**322. Variable independiente:** Concentraciones de plomo y cadmio en los suelos aledaños al Parque Industrial Infantas.

#### **3.3. Población**

La presente investigación se desarrolló en la Urbanización “Villa del Norte” del Distrito de Los Olivos y la urbanización “Carabaylo” del distrito de Comas pertenecientes a la ciudad de Lima Metropolitana. Estos lugares fueron seleccionados por su cercanía con el Parque Industrial Infantas lo que podría representar una situación de riesgo para los habitantes de la zona.

#### **3.4. Técnica de muestreo**

La técnica de muestreo utilizada en esta investigación corresponde a la sugerida por el Ministerio del Ambiente en su Guía para el Muestreo de Suelos, elaborada en el marco del D.S. N° 002-2013-MINAM (primera versión del ECA suelos). Según la guía mencionada el número de muestras que formarán parte del universo óptimo a analizar

para cada zona depende del área de potencial interés que se quiere estudiar. En el caso de esta investigación, el área de potencial interés es representada por las calles y parques de cada urbanización, exceptuando el área que ocupa cada vivienda. Según la Tabla 7, para un área de 3.6 hectáreas, tomamos 20 puntos de muestreo en cada una de las zonas de estudio.

Las muestras fueron tomadas utilizando una pala pequeña. Se extrajo un peso equivalente a 250 g de muestra en bolsas, se sellaron y rotularon para su envío al CICOTOX para cuantificar las concentraciones de plomo y cadmio.

Tabla 7. Número de muestras por área para el Muestreo de identificación

<b>Área de Potencial Interés (Ha)</b>	<b>Puntos de Muestreo en Total</b>
0,1	4
0.5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

Fuente: Guía de muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente, 2014.



### 3.5. Localización de la zona de muestreo

Se ha definido dos zonas de muestreo las cuales colindan con el Parque Industrial Infantas. La zona 1 corresponde a la urbanización “Carabayllo” del distrito de Comas y la zona 2, a la urbanización Villa del Norte del distrito de los Olivos. Como se observa, el Parque Industrial Infantas es una zona de transición entre ambos distritos donde se desarrollan actividades de metal mecánica las cuales tienen como principales emisiones el plomo, cadmio, zinc, entre otros.

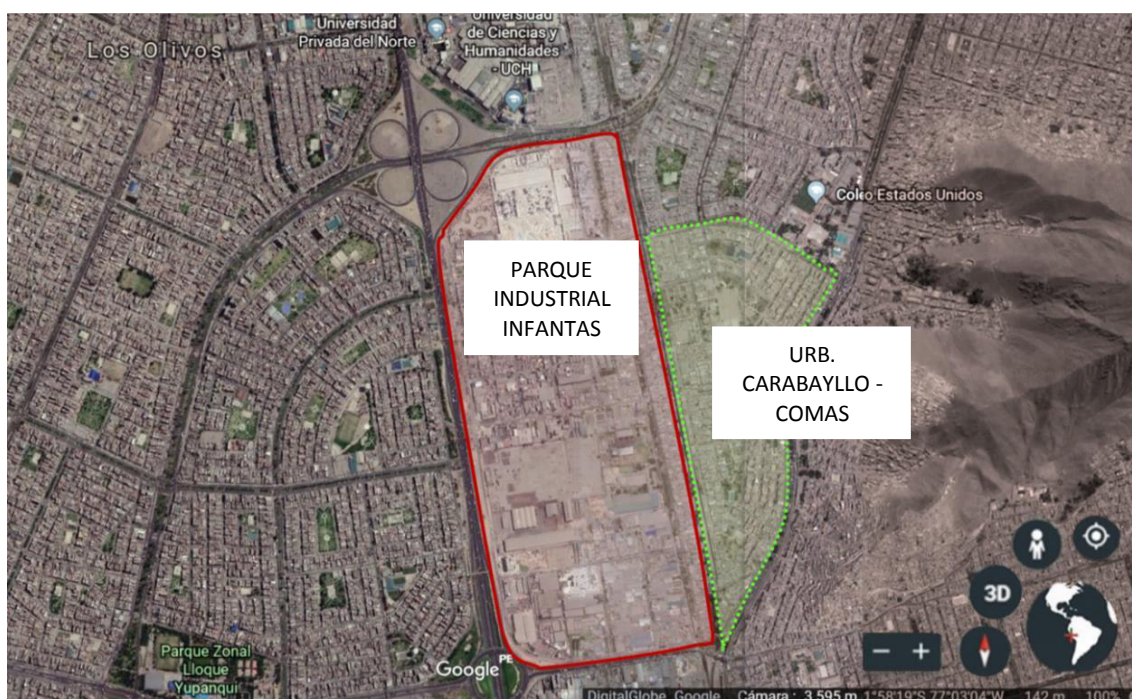


Figura 9. Mapa de la urbanización "Carabayllo" junto al Parque Industrial Infantas.

Fuente: Google Earth, 2018.

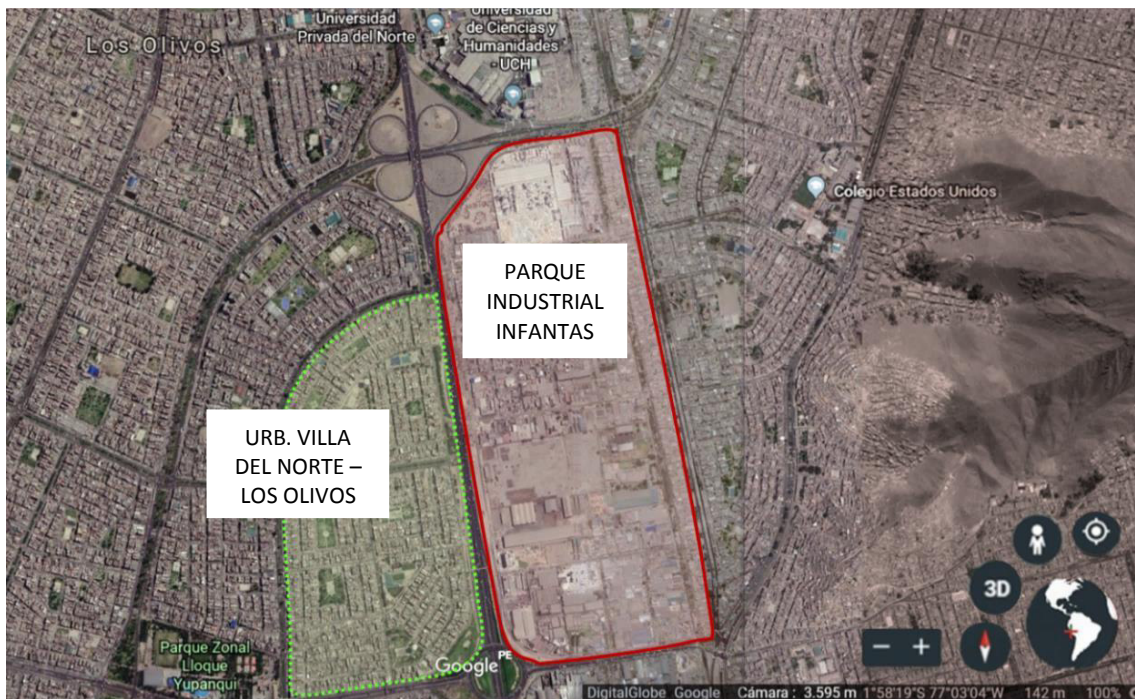


Figura 10. Mapa de la urbanización "Villa del Norte" junto al Parque Industrial Infantas

Fuente: Google Earth, 2018.

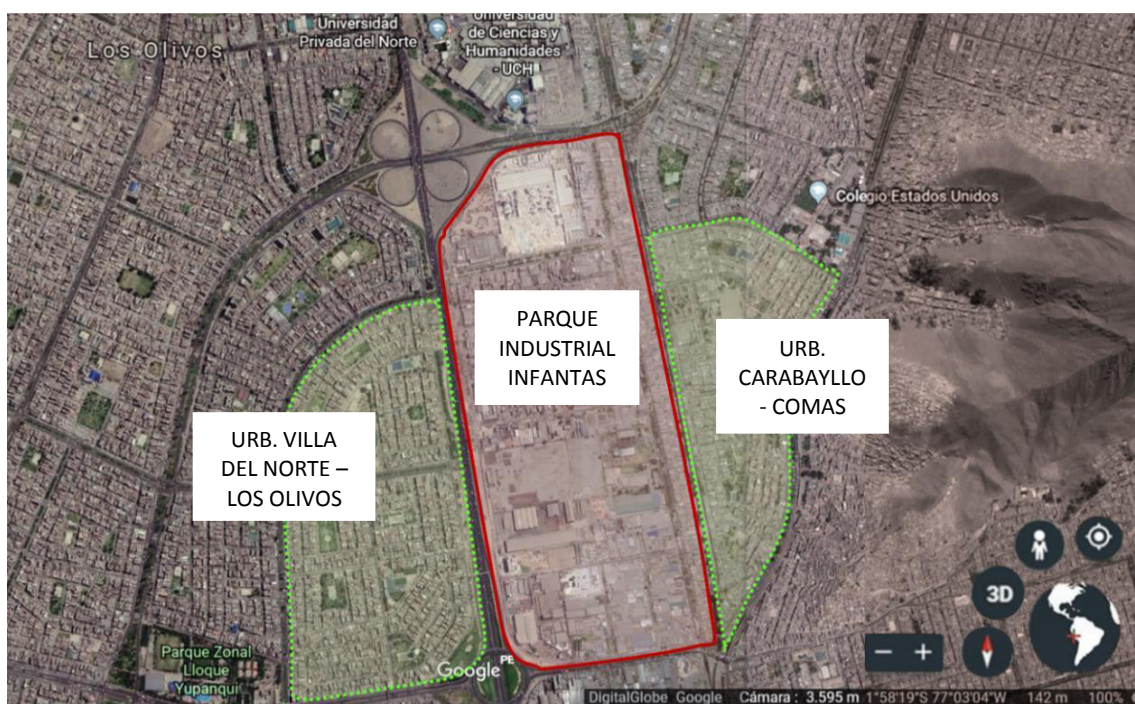


Figura 11. Mapa de las zonas de muestreo junto al Parque Industrial Infantas

Fuente: Google Earth, 2018.

En la Figura 9 se observa la cercanía entre el Parque Industrial Infantas con la urbanización Carabayllo del distrito de Comas (zona 1).

En la Figura 10 se observa la cercanía entre el Parque Industrial Infantas con la urbanización Villa del Norte de Los Olivos (zona 2).

En la Figura 11 se observa que el Parque Industrial Infantas se encuentra entre las zonas de muestreo. Dichas zonas de muestreo (zona 1 y zona 2), catalogadas como zonas urbanas, hacen un total de 3.6 hectáreas cada una.

### **3.6. Metodología de evaluación de riesgos toxicológicos**

La metodología empleada para la caracterización del riesgo corresponde a la propuesta por la OPS/OMS, con la cual se valorizó el riesgo a partir del Índice de peligrosidad y del Margen de exposición. Estos dos parámetros se determinan a partir de los datos de la dosis de exposición de plomo y cadmio en cada una de las zonas estudiadas.



## **IV. PARTE EXPERIMENTAL**

### **4.1. Determinación de plomo y cadmio en suelos**

#### **4.1.1. Determinación del número de muestras**

Para la determinación del número de muestras se ha tomado en cuenta lo planteado por el Ministerio del Ambiente de Perú a través de la Guía de muestreo de suelos del año 2014.

Según la metodología para la determinación de puntos de muestreo, se debe tomar en cuenta el área de potencial interés dentro del predio de estudio y aquellas áreas que presentan una distribución similar en cuanto a la contaminación<sup>(74)</sup>. En esta investigación, tanto en la urbanización Carabayllo como en la de Villa del Norte, el área de potencial interés corresponde a 3.6 hectáreas que solo consideran sus calles y parques de cada urbanización, excluyéndose el área ocupada por viviendas. Según la metodología, para un área de 3.6 hectáreas le corresponde 20 puntos de muestreo aproximadamente.

Del análisis anterior, se determinó un total de 20 puntos de muestreo para cada una de las zonas en estudio (zona 1 y zona 2). A su vez, cada una de las muestras está compuesta por 16 submuestras.

#### **4.1.2. Selección de muestras**

Para que la investigación se ajuste a la realidad del Parque Industrial Infantas la muestra debe ser representativa. Se tomaron 20 muestras para cada una de las zonas las cuales se detallan en la Tabla 8 y la Tabla 9.

Tabla 8. Lugares de muestreo en la zona 1: Urb. Carabayllo – Comas.

<b>N° muestra</b>	<b>Código</b>	<b>Referencia</b>
01	Z1-01	Av. Metropolitana cruce con Av. Maestro Peruano
02	Z1-02	Alrededores del Parque Número1
03	Z1-03	Alrededores del Colegio Peruano Suizo
04	Z1-04	Parque entre la calle 1 y calle 2
05	Z1-05	Frente al Colegio Monserrat
06	Z1-06	Av. Túpac Amaru frente al Hospital de la Solidaridad
07	Z1-07	Alrededores del Parque Cruz de Motupe
08	Z1-08	Parque de la calle 19
09	Z1-09	Av. Túpac Amaru cruce con Av. Metropolitana
10	Z1-10	Av. Metropolitana cruce con Calle 25
11	Z1-11	Av. Maestro Peruano cruce con Calle 5
12	Z1-12	Calle 1 cruce con Av. Maestro Peruano
13	Z1-13	Alrededores de la calle 10
14	Z1-14	Alrededores del Parque Francisco Bolognesi
15	Z1-15	Alrededores de la calle 25
16	Z1-16	Calle 21 cruce con calle 17
17	Z1-17	Av. Metropolitana cruce con calle 23
18	Z1-18	Av. Metropolitana frente al C.C. Hiper
19	Z1-19	Calle 11 cruce con calle 3
20	Z1-20	Calle 8 cruce con calle 13A

Fuente: Elaboración propia.

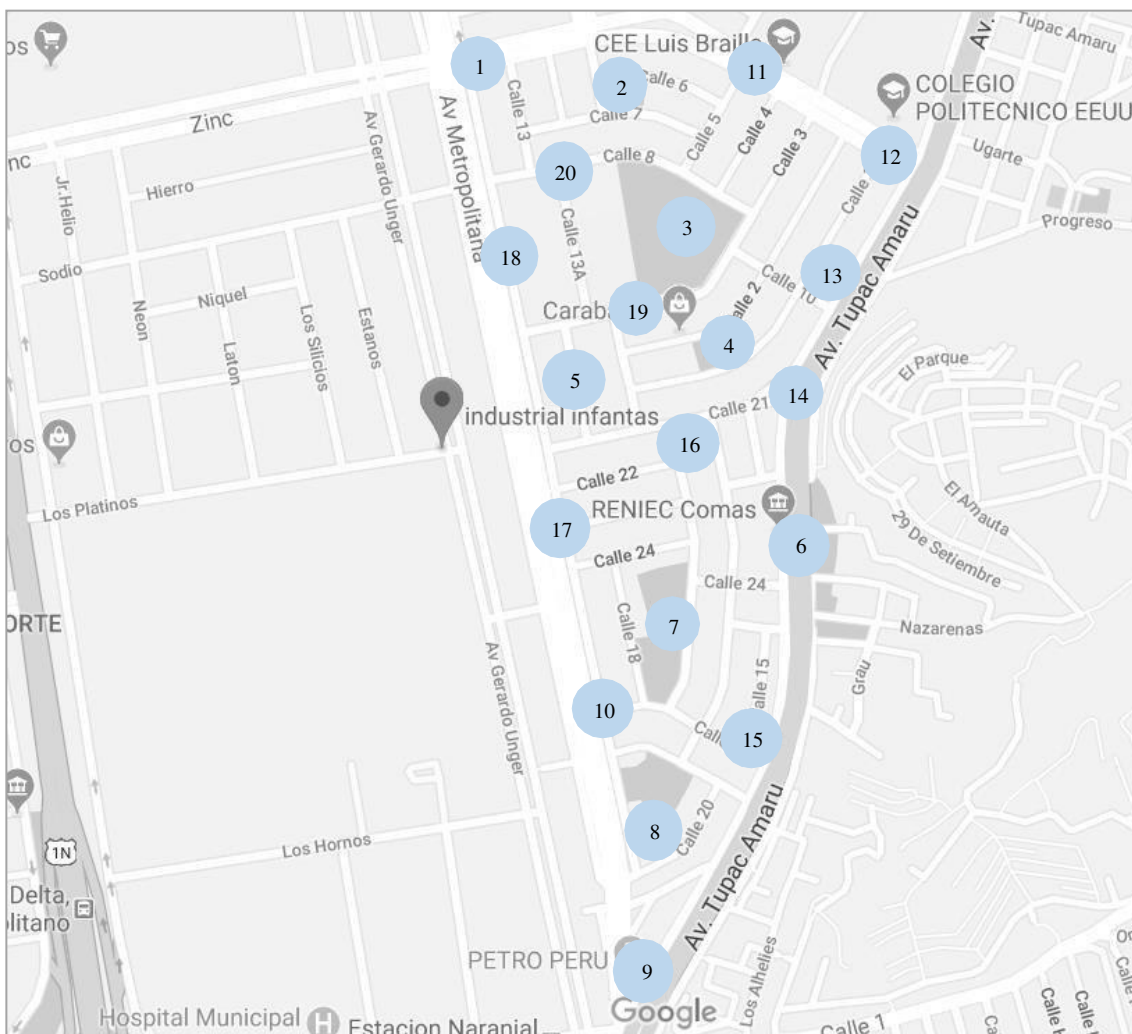


Figura 12. Mapa de los lugares de muestreo en la zona 1: Urb. Carabayllo – Comas.

Fuente: Elaboración propia, Google Maps.

#### Leyenda:

(01) Av. Metropolitana cruce con Av. Maestro Peruano, (02) Alrededores del Parque Número1, (03) Alrededores del Colegio Peruano Suizo, (04) Parque entre la calle 1 y calle 2, (05) Frente al Colegio Monserrat, (06) Av. Túpac Amaru frente al Hospital de la Solidaridad, (07) Alrededores del Parque Cruz de Motupe, (08) Parque de la calle 19, (09) Av. Túpac Amaru cruce con Av. Metropolitana, (10) Av. Metropolitana cruce con Calle 25, (11) Av. Maestro Peruano cruce con Calle 5, (12) Calle 1 cruce con Av. Maestro Peruano, (13) Alrededores de la calle 10, (14) Alrededores del Parque Francisco Bolognesi, (15) Alrededores de la calle 25, (16) Calle 21 cruce con calle 17, (17) Av. Metropolitana cruce con calle 23, (18) Av. Metropolitana frente al C.C. Hiper, (19) Calle 11 cruce con calle 3 y (20) Calle 8 cruce con calle 13A.

Tabla 9. Lugares de muestreo en la zona 2: Urb. Villa del Norte – Los Olivos.

N° muestra	Código	Referencia
21	Z2-01	Alrededores del Jirón Río Majes
22	Z2-02	Av. Río Marañón cruce con Av. Alfredo Mendiola
23	Z2-03	Av. Río Marañón cruce con calle Río Chillón
24	Z2-04	Alrededores del Parque Tarica
25	Z2-05	Alrededores del Parque San Roque
26	Z2-06	Alrededores de la Plaza de Armas Constitución
27	Z2-07	Alrededores del Parque de la Amistad
28	Z2-08	Alrededores de la calle Río Mantaro
29	Z2-09	Alrededores del Parque Santa Rosa
30	Z2-10	Av. Naranjal cruce con Av. Las Palmeras
31	Z2-11	Av. Las Palmeras cruce con Av. Alfredo Mendiola
32	Z2-12	Alrededores del Parque Ucayali
33	Z2-13	Jirón Río Ucayali cruce con jirón Río Ilo
34	Z2-14	Av. Marañón cruce con la Av. Las Palmeras
35	Z2-15	Av. Las Palmeras cruce con calle Río Urubamba
36	Z2-16	Av. Alfredo Mendiola cruce con Jirón Chasquitambo
37	Z2-17	Av. Alfredo Mendiola cruce con Av. Naranjal
38	Z2-18	Alrededores del Jirón Chasquitambo
39	Z2-19	Río Urubamba cruce con Marcará
40	Z2-20	Alrededores del Parque Villa del Norte Madrina

Fuente: Elaboración propia.

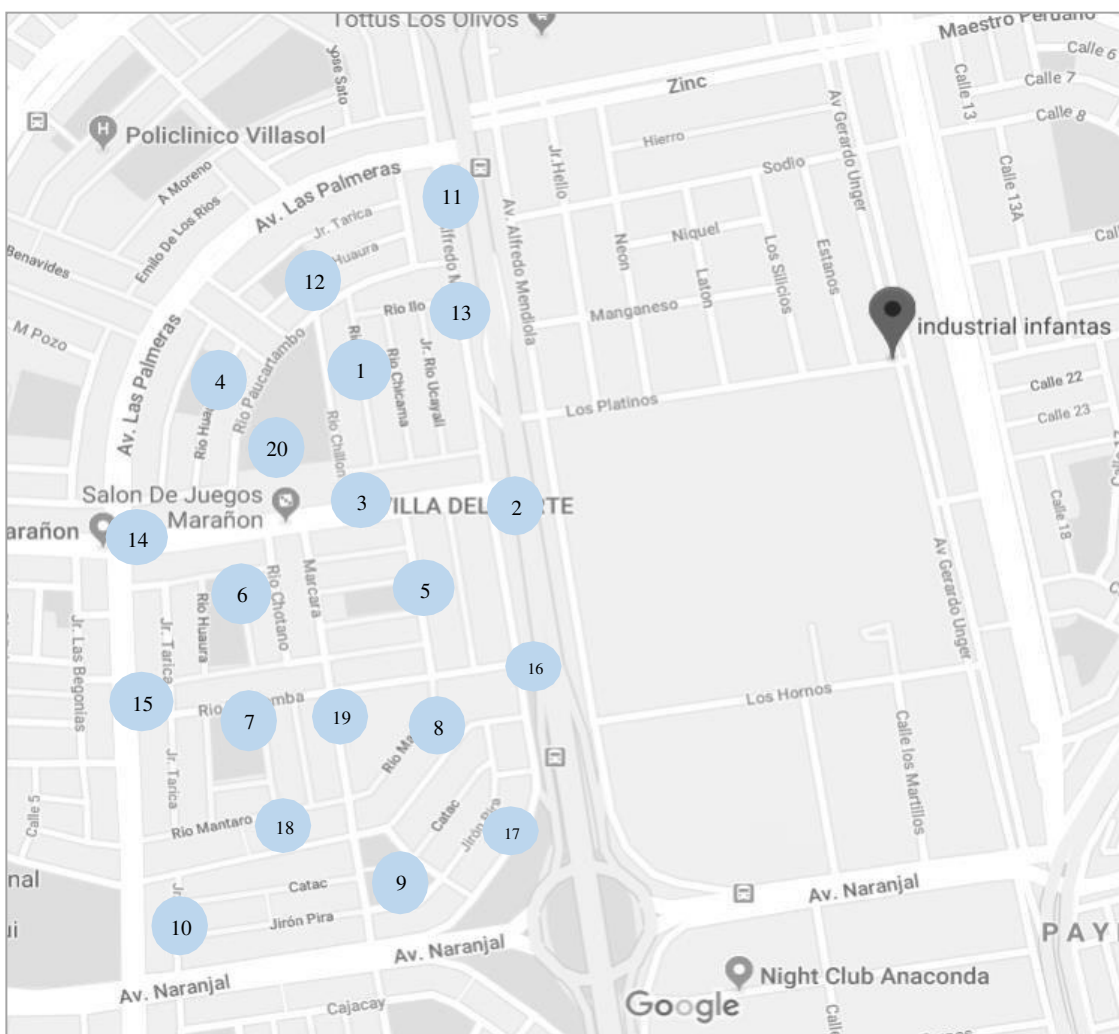


Figura 13. Mapa de los lugares de muestreo en la zona 2: Urb. Villa del Norte – Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia, Google Maps.

Leyenda:

(21) Alrededores del Jr. Río Majes, (22) Av. Río Marañón cruce con Av. Alfredo Mendiola, (23) Av. Río Marañón cruce con calle Río Chillón, (24) Alrededores del Parque Tarica, (25) Alrededores del Parque San Roque, (26) Alrededores de la Plaza de Armas Constitución, (27) Alrededores del Parque de la Amistad, (28) Alrededores de la calle Río Mantaro, (29) Alrededores del Parque Santa Rosa, (30) Av. Naranjal cruce con Av. Las Palmeras, (31) Av. Las Palmeras cruce con Av. Alfredo Mendiola, (32) Alrededores del Parque Ucayali, (33) Jirón Río Ucayali cruce con Jirón Río Ilo, (34) Av. Marañón cruce con la Av. Las Palmeras, (35) Av. Las Palmeras cruce con calle Río Urubamba, (36) Av. Alfredo Mendiola cruce con Jirón Chasquitambo, (37) Av. Alfredo Mendiola cruce con Av. Naranjal, (38) Alrededores del Jirón Chasquitambo, (39) Río Urubamba cruce con Marcará y (40) Alrededores del Parque Villa del Norte Madrina.



### **4.1.3. Toma de muestras**

#### ***Método de muestreo***

La metodología utilizada para la toma de muestras fue la presentada por la Guía de Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente en el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo. El procedimiento es el siguiente:

- a. Determinar el punto de muestreo
- b. En cada punto de muestreo tomar 16 submuestras las cuales constituyen una muestra de aproximadamente 250 gr.
- c. Muestrear a una profundidad máxima de 0.10 m
- d. Colocar las muestras en bolsas ziploc independientes
- e. Rotular cada muestra

#### ***Materiales para la toma de muestras***

- Espátula de plástico
- Bolsas herméticas ziploc
- Guantes de vinil
- Etiquetas y plumón indeleble

### ***Transporte y conservación***

Las muestras son almacenadas en bolsas herméticas ziploc y transportadas en un cooler para el análisis en el Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental (CICOTOX).

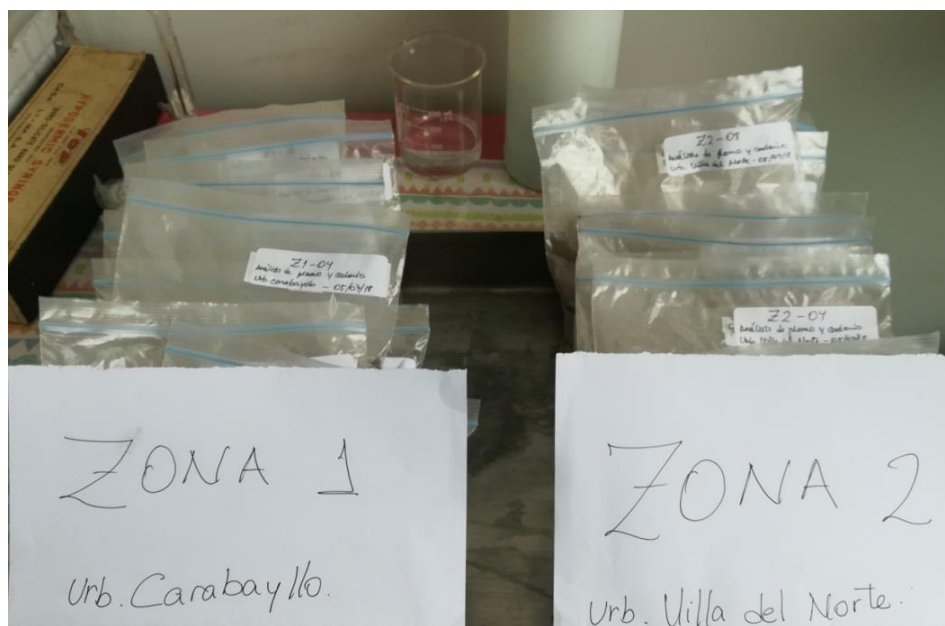


Figura 14. Muestras para análisis de plomo y cadmio en suelos.

#### **4.1.4. Análisis de plomo**

La metodología analítica empleada para el análisis de plomo en suelo es la Espectrofotometría de Absorción Atómica a la flama. Laboratorio: Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental – CICOTOX (UNMSM).

### ***Fundamento***

El haz emitido por la fuente de luz atraviesa el sistema de atomización que contiene la muestra en estado de gas atómico, ésta llega al monocromador que elimina la radiación que no interesa para el estudio, pasando así al revelador o detector de la radiación absorbida, que luego es procesada y amplificada, dando como resultado una lectura de salida<sup>(75)</sup>.

#### **4.1.5. Análisis de cadmio**

La metodología analítica empleada para el análisis de cadmio en suelo es la Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito. Laboratorio: Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental – CICOTOX (UNMSM).

### ***Fundamento***

El principio se basa en la absorción de luz por parte de un elemento en estado atómico. La longitud de onda a la cual la luz es absorbida es específica para cada elemento. Se mide la atenuación de la intensidad de la luz como resultado de la absorción, siendo la cantidad de radiación absorbida proporcional a la cantidad de átomos del elemento presente<sup>(76)</sup>.

## **4.2. Caracterización del riesgo**

### **4.2.1. Identificación de la ruta de exposición**

La ruta de exposición se refiere al camino que sigue el contaminante desde su fuente de emisión hasta la población. Por tanto, toda ruta de exposición comprende estos

componentes: Fuentes de la contaminación, medio ambiental, punto de exposición, vías de exposición y la población receptora<sup>(11)</sup>.

De la inspección preliminar realizada en las zonas de estudio, se determinó que las principales fuentes de contaminación son de naturaleza fija y móvil. La fuente de emisión fija corresponde al Parque Industrial Infantas debido a las liberaciones de plomo y cadmio como resultado de las actividades de fundición y metal - mecánica que se desarrollan en la zona.

La fuente móvil corresponde al parque automotor. Adicionalmente, se reconoce al suelo como una fuente de contaminación, ya que por mucho tiempo ha acumulado el plomo proveniente de la gasolina, usado en su forma orgánica (tetrametilo y tetraetilo de plomo) para aumentar el octanaje del combustible. Una vez liberado los contaminantes, estos se desplazan a través del aire y se depositan en el suelo el cual es el medio que se ha analizado para la evaluación de riesgos.

Los puntos de exposición están determinados por el alcance de la tesis, es decir, aquellas áreas de recreación, centros educativos, hospitales, mercados, vías públicas, etcétera, ubicados en la Urb. Carabayllo (Comas) y la Urb. Villa del Norte (Los Olivos).

Debido a que el objetivo de esta investigación es evaluar el riesgo por exposición a suelos contaminados con plomo y cadmio, la vía de exposición corresponde a la ingesta de suelo. Los valores de ingesta diaria son definidos por la ATSDR.

Finalmente, la población receptora está compuesta por aquellos niños y adultos de la Urb. Carabayllo (Comas) y la Urb. Villa del Norte (Los Olivos) por ser zonas aledañas al Parque Industrial Infantas (Figura 11).

#### 4.2.2. Estimación de la Dosis de Exposición

La dosis de exposición (DE) se define como la cantidad de contaminante absorbida por la población en estudio. Esta DE se expresa en mg/kg/día y será comparada con índices o valores de toxicidad adecuados (NOAEL y LOAEL) con lo que se podrá determinar si la exposición, a la que se encuentra la población a estudiar, implica un riesgo para su salud.

Para la determinación de la dosis de exposición se utilizará la siguiente ecuación:

$$DE = \frac{C \times TI \times FE \times 10^{-6}}{PC}$$

**Dónde:**

DE: Dosis de Exposición (mg/kg/día)

C: Concentración del Contaminante (mg/kg)

TI: Tasa de Ingesta (mg/día)

FE: Factor de Exposición (no posee unidades)

PC: Peso Corporal (kg)

La Tasa de Ingesta (TI) consiste en el consumo diario de suelo a través de la comida, objetos sucios o, en el caso de los niños, por la ingesta de material no comestible (pica) el cual ingresa al organismo por la vía digestiva.

Según la ATSDR, se definen los siguientes valores:

Tabla 10. Valores referenciales de la tasa de ingesta.

<b>Tipo de población</b>	<b>TI</b>
Adultos	50 mg/día
Niños con pica	5-10 g/día
Niños sin pica	50-200 mg/día

Fuente: Apéndice D – ATSDR.

El Peso Corporal (PC) se define como 70 kg en adultos y 16 kg para niños.

El Factor de Exposición (FE) se utiliza para promediar la dosis en los intervalos en los que dura la exposición.

El FE se calculará de la siguiente manera:

$$FE = \frac{Frecuencia \times Duración}{Tiempo}$$

### 4.2.3. Evaluación del Riesgo

Para la caracterización del riesgo se utilizará el Índice de Peligrosidad (IP) y el Margen de exposición (ME).

El IP se obtiene al dividir la dosis de exposición (DE) entre la Dosis de Referencia (RfD) propuesto por la EPA, o la Dosis de Riesgo Mínimo propuesto por la ATSDR. Esta dosis de exposición DE es calculada a partir de la concentración de plomo encontrada en el medio y el uso de fórmulas presentadas en el apartado anterior. El IP indicará seguridad o peligrosidad con respecto a la DE a la cual se encuentra expuesta la población.

Así, cuando la dosis de exposición calculada es igual o menor que la dosis de referencia, el IP adquiere un valor de uno o menor que uno ( $IP < 1$ ). Para este caso se considera que la población se encuentra en condiciones seguras de exposición. Del mismo modo, cuando el IP toma valores que van creciendo por encima del uno ( $IP > 1$ ), se considera que la DE a la que se encuentra la población, que también va en ascenso, incrementa los niveles de riesgo y la probabilidad de que aparezcan efectos adversos en la población estudiada.

El ME es un indicador que compara los NOAEL (valores de donde se derivan los RfD) y la dosis de exposición estimada. Este indicador es una imagen inversa del IP, es decir, mientras más grande sea el valor del ME ( $ME > 1$ ) más amplia será la ventana de seguridad y menos probable de que aparezca un efecto adverso en la población.

Se considera como NOAEL para cadmio el valor de 0.01. Para el caso del plomo, no se tiene un NOAEL, no obstante, Madhavan et al (1989), recomienda usar el valor de 250 mg/Kg/día. Según el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC), el

plomo está definido como posible carcinógeno por lo que cuenta con un Factor potencial carcinógeno (FPC) el cual corresponde a 0.0085<sup>(77)</sup>.

### ***Índice de peligrosidad***

$$IP = \frac{\text{Dosis de Exposición Estimada}}{DfR \text{ o } IDA}$$

### ***Margen de Exposición***

$$ME = \frac{NOAEL \text{ crítico}}{\text{Dosis de Exposición estimada}}$$

Tanto el plomo como el cadmio son considerados por la IARC como posibles carcinógenos, por lo que también se estimará el riesgo carcinogénico debido a la exposición por ambos metales. Se calculará el Riesgo Individual (RI) de una persona a padecer cáncer al estar expuesto al plomo.

Para el Cálculo del RI se necesita el Factor Potencial de Cáncer (FPC) de la sustancia estudiada, que para el caso del presente estudio se necesitaría obtener el FPC del plomo. Esta información se encuentra en las bases de datos científicas de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés).

El valor del RI es habitualmente una cifra muy pequeña y refleja las posibilidades de una persona a sufrir de cáncer del orden de diez milésimas o cien milésimas. El RI al ser multiplicada por el tamaño de la población estudiada se obtiene el riesgo de la población a sufrir de cáncer.

Este es un dato hipotético el cual muestra los números de casos de cáncer que se presentarían al estar la población expuesta al contaminante por toda su vida.



Para el cálculo del Riesgo Individual:

$$RI = FPC \times DE$$

**Dónde:**

FPC: Factor Potencial de Cáncer

DE: Dosis de exposición

Para el Riesgo Poblacional se utilizará la siguiente fórmula:

$$RP = Ri \times Pexp$$

**Dónde:**

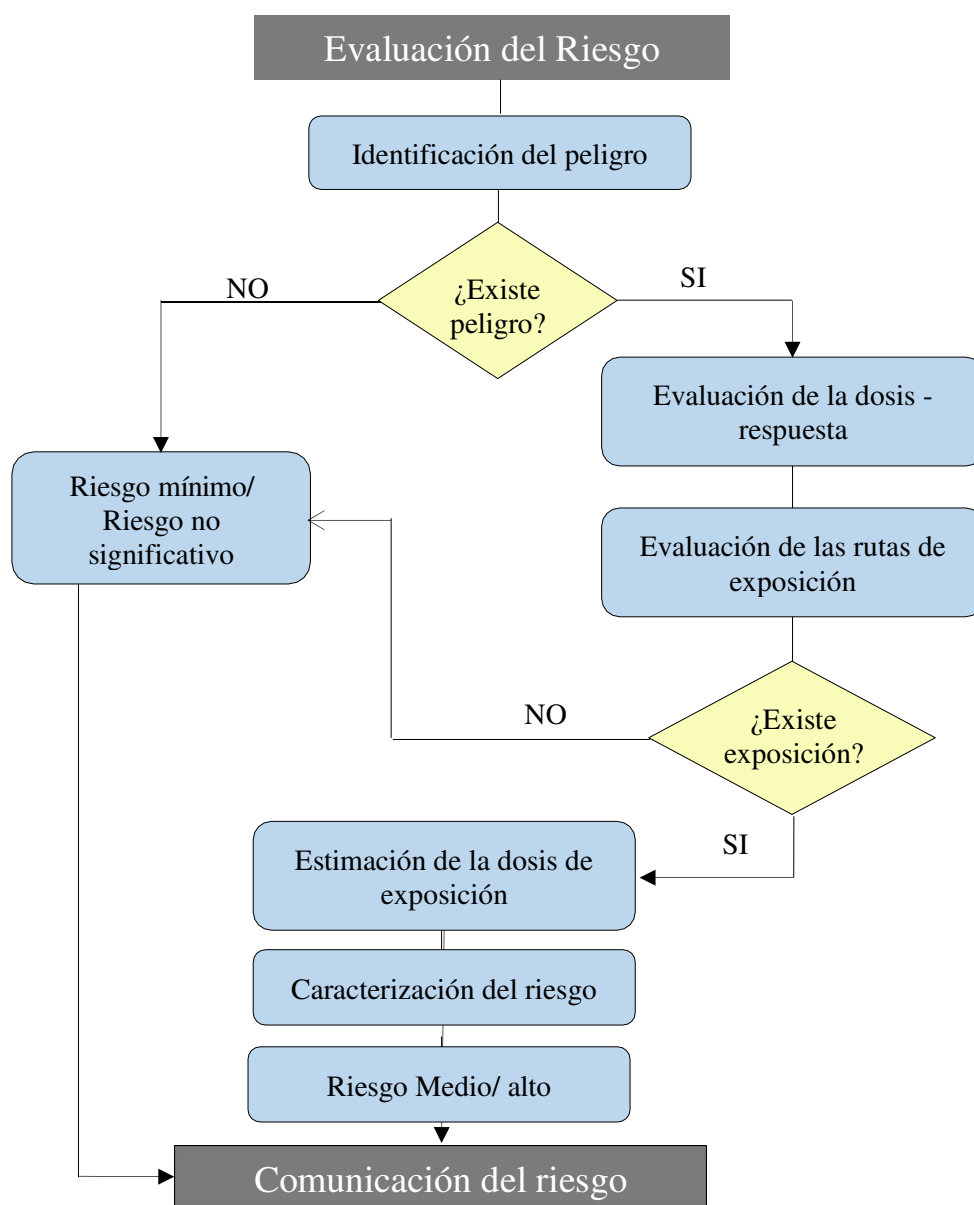
Ri: Riesgo Individual

Pexp: Población Expuesta

El riesgo poblacional debe entenderse como una proyección probabilística de la incidencia del efecto en la población expuesta de por vida. Dado que en la realidad estas condiciones existentes al momento de la evaluación no se van a mantener en el futuro, debido a las dinámicas demográficas y de la contaminación, se asume este escenario como un supuesto teórico necesario para establecer el proceso matemático de proyección del riesgo.

De acuerdo con los últimos valores calculados podremos caracterizar el riesgo toxicológico que representa el plomo en niños expuestos en áreas de recreación. El riesgo se caracterizará como mínimo, moderado o alto.

#### 4.2.4. Flujograma de la caracterización del riesgo



Fuente: Elaboración propia basado en la ATSDR, 19992

## V. RESULTADOS

### 5.1. Determinación de plomo y cadmio en suelos

La Tabla 11 presenta los resultados de las concentraciones de las 20 muestras tomadas en la zona 1: Urb. Carabayllo - Comas; y en la Tabla 12, los resultados de las concentraciones de las 20 muestras de la zona 2: Urb. Villa del Norte – Los Olivos.

Tabla 11. Concentraciones de plomo y cadmio en la Urb. Carabayllo – Comas, 2018.

<b>Determinación Pb y Cd en Urb. Carabayllo – Comas</b>		
<b>Cód. muestra</b>	<b>[Pb] mg/Kg</b>	<b>[Cd] mg/Kg</b>
Z1-01	58.069	0.670
Z1-02	120.370	1.830
Z1-03	62.795	1.085
Z1-04	41.197	0.962
Z1-05	47.987	0.761
Z1-06	94.495	0.912
Z1-07	25.670	0.591
Z1-08	76.886	0.654
Z1-09	61.136	0.734
Z1-10	43.410	0.693
Z1-11	56.552	0.907
Z1-12	83.311	1.058
Z1-13	54.370	0.610
Z1-14	86.107	1.157
Z1-15	117.244	0.801
Z1-16	52.995	0.741
Z1-17	58.241	0.565
Z1-18	84.046	1.055
Z1-19	42.936	0.474
Z1-20	71.583	0.844

Tabla 12. Concentración de plomo y cadmio en la Urb. Villa del Norte - Los Olivos.

<b>Determinación de Pb y Cd en Urb. Villa del Norte - Los Olivos</b>		
<b>Cód. muestra</b>	<b>[Pb] mg/Kg</b>	<b>[Cd] mg/Kg</b>
Z2-01	46.040	0.663
Z2-02	63.159	1.020
Z2-03	64.961	0.537
Z2-04	57.751	0.791
Z2-05	31.607	0.693
Z2-06	17.619	0.581
Z2-07	25.828	0.994
Z2-08	43.349	0.829
Z2-09	10.702	0.336
Z2-10	41.288	1.035
Z2-11	108.174	1.241
Z2-12	40.225	0.835
Z2-13	32.433	0.504
Z2-14	130.666	0.721
Z2-15	84.213	0.929
Z2-16	60.665	0.545
Z2-17	34.659	0.450
Z2-18	60.478	0.783
Z2-19	25.847	0.434
Z2-20	48.847	0.634

La Tabla 13 muestra el promedio, valor máximo y el valor mínimo de las concentraciones halladas en las muestras de suelo para la medición de los parámetros de plomo y cadmio. Se observa que los valores son bastante similares. En las Tablas 14 y 15 estos datos se muestran por separado.

Tabla 13. Medidas de tendencia central y distribución de las muestras.

stats	Pb_lo	Cd_lo	Pb_co	Cd_co
mean	51.42555	.72775	66.97	.8552
p50	44.6945	.707	59.6885	.781
min	10.702	.336	25.67	.474
max	130.666	1.241	120.37	1.83
sd	29.53781	.2357469	24.82952	.2984787
variance	872.4823	.0555766	616.505	.0890895
skewness	1.171819	.343926	.6658347	1.721467
kurtosis	4.099665	2.421137	2.857698	6.688035

Fuente: Elaboración propia, STATA 14.

Pb_lo	:	Concentración (mg/Kg) de plomo en muestras de Los Olivos
Pb_co	:	Concentración (mg/Kg) de plomo en muestras de Comas
Cd_lo	:	Concentración (mg/Kg) de cadmio en muestras de Los Olivos
Cd_co	:	Concentración (mg/Kg) de cadmio en muestras de Comas
Mean	:	Media muestral
Std. Dev.	:	Desviación Estándar (sd)
P50	:	Percentil 50 o Mediana
Min	:	Valor mínimo de la variable en la muestra
Max	:	Valor máximo de la variable en la muestra
Variance	:	Varianza

Tabla 14. Análisis estadísticos de las concentraciones de plomo.

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Pb_lo	20	51.42555	29.53781	10.702	130.666
Pb_co	20	66.97	24.82952	25.67	120.37

Fuente: Elaboración propia, STATA 14.

Tabla 15. Análisis estadístico de las concentraciones de cadmio.

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Cd_co	20	.8552	.2984787	.474	1.83
Cd_lo	20	.72775	.2357469	.336	1.241

Fuente: Elaboración propia, STATA 14.

De la Tabla 16 se deduce que, en promedio, y para la mayoría de los casos, la concentración de plomo será mayor en la Urb. Carabayllo que en la Urb. Villa del Norte, siendo que la zona 1 de Comas está más contaminada que la zona 2 en Los Olivos.

Tabla 16. Test de diferencias de medidas para la concentración de plomo en la Urb. Carabayllo y Urb. Villa del Norte.

Two-sample t test with equal variances						
Variable	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
Pb_co	20	66.97	5.552049	24.82952	55.34943	78.59057
Pb_lo	20	51.42555	6.604855	29.53781	37.60143	65.24967
combined	40	59.19777	4.436667	28.05994	50.22377	68.17178
diff		15.54445	8.628404		-1.922841	33.01174
diff = mean(Pb_co) - mean(Pb_lo)				t =	1.8015	
Ho: diff = 0				degrees of freedom =	38	
Ha: diff < 0		Ha: diff != 0		Ha: diff > 0		
Pr(T < t) = 0.9602		Pr( T  >  t ) = 0.0796		Pr(T > t) = 0.0398		

Fuente: Elaboración propia, STATA 14.

De la Tabla 17 se deduce que, en promedio, y para la mayoría de los casos, la concentración de cadmio será mayor en la Urb. Carabayllo que en la Urb. Villa del Norte, siendo que la zona 1 de Comas está más contaminada que la zona 2 en Los Olivos.

Tabla 17. Test de diferencias de medidas para la concentración de cadmio en la Urb. Carabayllo y Urb. Villa del Norte.

Two-sample t test with equal variances						
Variable	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
Cd_co	20	.8552	.0667419	.2984787	.7155077	.9948923
Cd_lo	20	.72775	.0527146	.2357469	.617417	.838083
combined	40	.791475	.0431982	.2732094	.7040984	.8788516
diff		.12745	.0850489		-.0447224	.2996224
diff = mean(Cd_co) - mean(Cd_lo)				t =	1.4986	
Ho: diff = 0				degrees of freedom =	38	
Ha: diff < 0			Ha: diff != 0		Ha: diff > 0	
Pr(T < t) = 0.9289			Pr( T  >  t ) = 0.1423		Pr(T > t) = 0.0711	

Fuente: Elaboración propia, STATA 14.

## 5.2. Comparación de las concentraciones promedio

Las concentraciones de plomo determinadas en las muestras de suelo corresponden a 66.97 mg/Kg (Comas) y 51.43 mg/Kg (Los Olivos). Estos valores están dentro de los estándares de calidad ambiental y el valor planteado por la EPA (Tabla 18).

Tabla 18. Concentraciones de Pb y valores referenciales internacionales.

<b>[ ] Pb Carabayllo (Comas)</b>	<b>[ ] Pb Villa del Norte (Los Olivos)</b>	<b>ECA SUELO Perú</b>	<b>EPA</b>
66.97 mg/Kg	51.43 mg/Kg	140.00 mg/Kg	400.00 mg/Kg

Fuente: Elaboración propia, STATA 14.

Las concentraciones de cadmio determinadas en las muestras de suelo corresponden a 0.86 mg/Kg (Comas) y 0.73 mg/Kg (Los Olivos). Estos valores están dentro de los estándares de calidad ambiental y el valor planteado por la ASTDR (Tabla 19).

Tabla 19. Concentraciones de Cd y valores referenciales internacionales.

<b>[ ] Cd Carabayllo (Comas)</b>	<b>[ ] Cd Villa del Norte (Los Olivos)</b>	<b>ECA SUELO Perú</b>	<b>ASTDR</b>
0.86 mg/Kg	0.73 mg/Kg	10.00 mg/Kg	0.025 mg/Kg

Fuente: Elaboración propia, STATA 14.



La Figura 15 muestra que las concentraciones de plomo, tanto en Carabayllo (Comas) y Villa del Norte (Los Olivos) están dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para suelo propuesto por el Ministerio del Ambiente de Perú. (Suelo residencial).

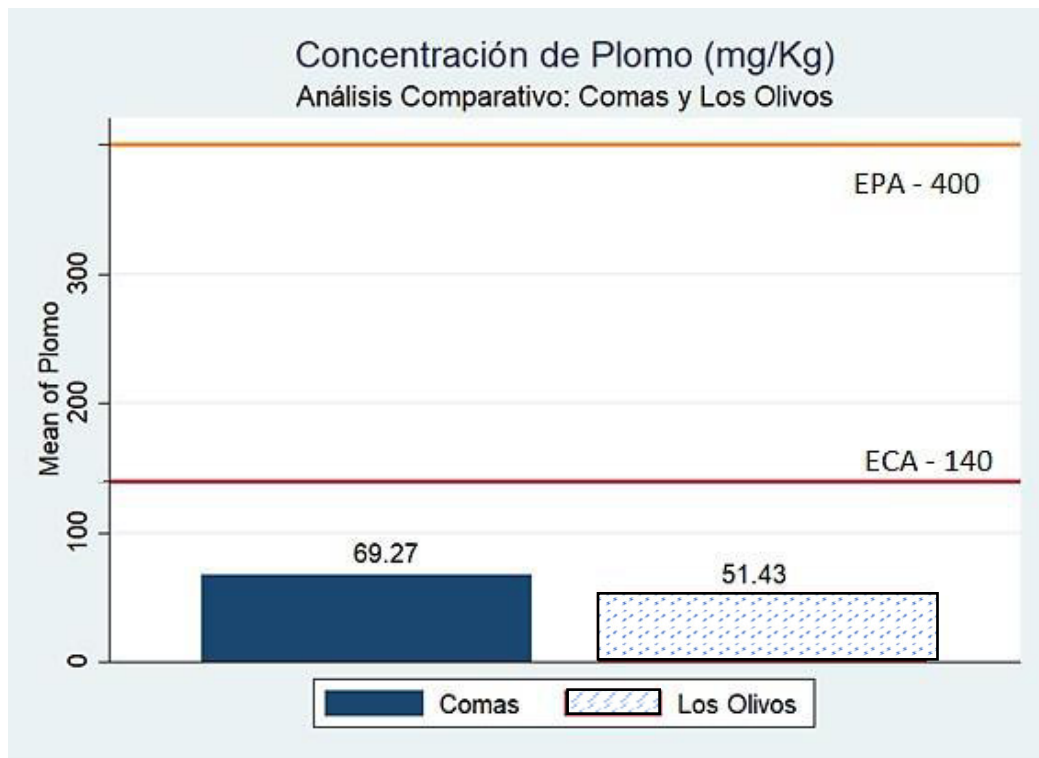


Figura 15. Concentración de plomo vs estándares referenciales.

Fuente: Elaboración propia, STATA 14.

La Figura 16 muestra que las concentraciones promedio de cadmio, tanto en Carabayllo (Comas) y Villa del Norte (Los Olivos) están dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para suelo propuesto por el Ministerio del Ambiente de Perú. (Suelo residencial).

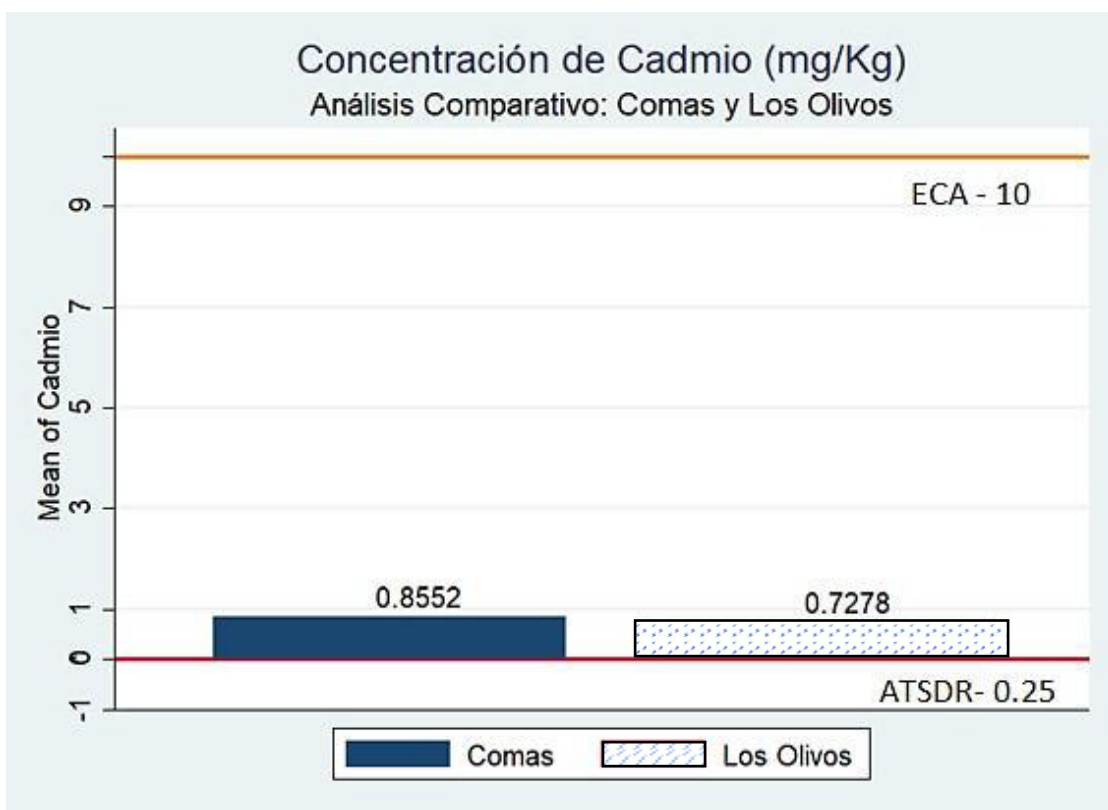


Figura 16. Concentración de cadmio vs estándares referenciales.

Fuente: Elaboración propia, STATA 14.

### 5.3. Determinación de la dosis de exposición

La Tabla 20 muestra los datos que se utilizarán para la determinación de la dosis de exposición en cada una de las zonas estudiadas (Urb. Carabayllo y Urb. Villa del Norte).

Tabla 20. Datos para el cálculo de la dosis de exposición a suelos con plomo y cadmio en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.

Variable	Carabayllo - Comas		Villa del Norte - Los Olivos	
	Adultos	Niños	Adultos	Niños
PC	70.00 Kg	16.00 Kg	70.00 Kg	16.00 Kg
TI	50 mg/d	200 mg/d	50 mg/d	200 mg/d
[ ] Plomo	66.97 mg/Kg		51.43 mg/Kg	
[ ] Cadmio	0.86 mg/Kg		0.73 mg/Kg	
FE	0.98			

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 21 muestra la DE calculada con las concentraciones de plomo y cadmio para cada uno de los lugares de estudio.

Tabla 21. Dosis de exposición estimada de plomo y cadmio en adultos y niños en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.

Parámetro	Adultos		Niños		Lugar
	Plomo mg/kg/d	Cadmio mg/kg/d	Plomo mg/kg/d	Cadmio mg/kg/d	
Dosis de exposición	0.000046879	0.00000059	0.0008203825	0.0000318562	Carabayllo – Comas
	0.000036	0.000000509	0.00062996	0.00000891	Villa del Norte – Los Olivos

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4. Cálculo del Margen de exposición

Para el cálculo del margen de la exposición se utilizará el NOAEL (Nivel de Efecto No Observable). Para el Cd se usará el valor de 0.01 mg/kg/día, para efectos renales, que es el NOAEL recomendado para la ingestión de alimentos. El plomo no tiene un NOAEL. Los datos para el cálculo del Margen de Exposición en suelos se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22. Datos para el cálculo del margen de exposición en suelos con plomo y cadmio en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.

Plomo			Cadmio		
Variable	Adultos	Niños	Variable	Adultos	Niños
NOAEL *	250.00 mg/kg/d	250.00 mg/kg/d	NOAEL	0.01 mg/kg/d	0.01 mg/kg/d
DE Carabaylo - Comas	0.000046879 mg/kg/día	0.00082038 mg/kg/día	DE Carabaylo - Comas	0.00000059 mg/kg/día	0.00001048 mg/kg/día
DE Villa del Norte - Los Olivos	0.000036 mg/kg/día	0.00062996 mg/kg/día	DE Villa del Norte - Los Olivos	0.000000509 mg/kg/día	0.00000891 mg/kg/día

Fuente: Elaboración propia.

(\*) Se desconoce de NOAEL para plomo por lo que se asume 250.00 mg/kg/d, según recomienda Mathavan et al, 1989.

Los resultados del cálculo del Margen de Exposición en suelos con plomo se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Margen de exposición para plomo en adultos y niños en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.

Lugar	Adultos	Niños
Carabayllo - Comas	5,332,878.26	304,736.83
Villa del Norte - Los Olivos	6,944,444.44	396,850.59

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del cálculo del Margen de Exposición en suelos con cadmio se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24. Margen de exposición para cadmio en adultos y niños en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.

Lugar	Adultos	Niños
Carabayllo - Comas	16,949.15	954.20
Villa del Norte - Los Olivos	19,646.37	1,122.33

Fuente: Elaboración propia.

### 5.5. Cálculo del Índice de Peligrosidad

Para el cálculo del índice de peligrosidad se utilizará el RfD (Dosis de referencia). Para el Cd se usará el valor de 0.001 mg/kg/día, propuesta por el IRIS, que es el valor recomendado para la ingestión de alimentos. Para el caso del plomo se usará el valor de 0.006 mg/kg/día, valor recomendado por la FDA para ingesta (Tabla 25).

Tabla 25. Datos para el cálculo del índice de peligrosidad en adultos y niños en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.

Plomo			Cadmio		
Variable	Adultos	Niños	Variable	Adultos	Niños
RfD	0.006 mg/kg/d	0.006 mg/kg/d	RfD	0.001 mg/kg/d	0.001 mg/kg/d
DE Carabaylo - Comas	0.000046879 mg/kg/día	0.00082038 mg/kg/día	DE Carabaylo - Comas	0.00000059 mg/kg/día	0.00001048 mg/kg/día
DE Villa del Norte - Los Olivos	0.000036 mg/kg/día	0.00062996 mg/kg/día	DE Villa del Norte - Los Olivos	0.000000509 mg/kg/día	0.00000891 mg/kg/día

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del cálculo del Índice de Peligrosidad en suelos con plomo se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26. Índice de peligrosidad para plomo en adultos y niños en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.

Lugar	Adultos	Niños
Carabaylo - Comas	0.0078 mg/kg/día	0.137 mg/kg/día
Villa del Norte - Los Olivos	0.006 mg/kg/día	0.105 mg/kg/día

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del cálculo del Índice de Peligrosidad en suelos con cadmio se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27. Índice de peligrosidad para cadmio en adultos y niños en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.

Lugar	Adultos	Niños
Carabayllo - Comas	0.000098 mg/kg/día	0.00175 mg/kg/día
Villa del Norte - Los Olivos	0.000085 mg/kg/día	0.001485 mg/kg/día

Fuente: Elaboración propia.

## 5.6. Cálculo del riesgo carcinógeno para plomo

Para el cálculo del riesgo carcinógeno se usará el Factor de Potencial Carcinógeno (FPC) que para el plomo es igual a 0.0085 mg/kg/día. Primero se calcula el riesgo individual (RI) y luego al multiplicar el RI por el número de habitantes de la zona se calcula el riesgo poblacional (Tabla 28).

Tabla 28. Datos para el cálculo del riesgo carcinógeno individual a plomo en adultos y niños en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.

Variable	Adultos	Niños
FPC	0.0085 mg/kg/d	0.0085 mg/kg/d
DE Carabaylo - Comas	0.000046879 mg/kg/día	0.00082038 mg/kg/día
DE Villa del Norte - Los Olivos	0.000036 mg/kg/día	0.00062996 mg/kg/día

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del cálculo del análisis del riesgo individual y riesgo poblacional a plomo se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29. Riesgo Individual y Riesgo Poblacional carcinógeno en adultos y niños en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018.

Variable	Carabaylo - Comas		Villa del Norte - Los Olivos	
	Adultos	Niños	Adultos	Niños
RI	$3.98 \times 10^{-7}$	$6.97 \times 10^{-6}$	$3.06 \times 10^{-7}$	$5.35 \times 10^{-6}$
N.º de pobladores*	5200	5200	15052	15052
Riesgo poblacional	$2.1 \times 10^{-3}$	$3.6 \times 10^{-2}$	0.0046	0.08

Fuente: Elaboración propia.

\* El tamaño de la población es estimado a partir de la densidad poblacional de cada distrito<sup>(78)</sup>.



## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- El presente estudio busca evaluar el riesgo toxicológico en personas expuestas a suelos con plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú, 2018. La metodología utilizada fue la recomendada por la OPS/OMS, para países de la región de América Latina, la cual es una adaptación de la metodología de la ATSDR para países que no cuenten con información ambiental como es el caso de Perú<sup>(11)</sup>. Esta metodología nos permitió caracterizar el riesgo toxicológico en las zonas aledañas al Parque Industrial Infantas en Lima – Perú; así como lo logró María de los Ángeles Tello en Ecuador, a través de la investigación “Evaluación de riesgo toxicológico de plomo y cadmio en suelos del entorno del Parque Industrial de la ciudad de Cuenca” (2015).
- Las zonas seleccionadas para realizar el estudio fueron la Urb. Carabayllo (Comas) y la Urb. Villa del Norte (Los Olivos) las cuales presentan suelos de tipo residencial/ parques según el Ministerio del Ambiente de Perú. Estas zonas fueron seleccionadas por encontrarse más próximas al Parque Industrial Infantas (Figura 11). En cada una de ellas se tomó un total de 20 muestras según la Guía de Muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente (2014). La distribución de los puntos de muestreo se encuentra en las Figuras 12 y 13; y los resultados obtenidos del análisis instrumental se encuentran en las Tablas 11 y 12. De las concentraciones de plomo en suelo, dos muestras tuvieron resultados muy elevados respecto a las demás muestras: 130.66 mg/kg, en la Urb. Villa del Norte, y 120.57 en la Urb. Carabayllo. Sin embargo, al comparar cada uno de los resultados con el ECA suelo, todas las concentraciones se encontraban por debajo de este valor referencial. Con respecto a las concentraciones de cadmio, los resultados fueron todos homogéneos.

- De los resultados obtenidos del análisis instrumental y el posterior análisis estadístico se determinó que la concentración media de plomo y cadmio en la Urb. Carabayllo (Comas) es de 66.97 mg/kg y 0.86 mg/kg, respectivamente. En el caso de la Urb. Villa del Norte (Los Olivos) es de 51.43 mg/kg y 0.73 mg/kg, respectivamente. Las concentraciones de plomo y cadmio encontradas en los alrededores de Parque Industrial Infantas en Lima – Perú fueron mayores a las encontradas por María de los Ángeles Tello en los alrededores del Parque Industrial de Cuenca en Ecuador <sup>(79)</sup>. Asimismo, se determinó que las concentraciones de plomo son menores a las concentraciones determinadas por Cristian Oriundo Guarda y Jhon Robles Gomero en la “Determinación de plomo en suelos debido a la contaminación por fábricas aledañas al Asentamiento Humano cultura y progreso del distrito de Ñaña – Chaclacayo” (2009); no obstante, es importante mencionar que, en este último estudio, las muestras correspondieron a suelo y polvo de techos y viviendas.
- Con la concentración de plomo y cadmio se procedió a estimar las dosis de exposición, las cuales se calcularon para niños y adultos por separado. En la Urb. Carabayllo se encontró para adultos una  $DE_{Pb} = 0.000046879$  mg/kg/día y  $DE_{Cd} = 0.00000059$  mg/kg/día, y para niños, una  $DE_{Pb} = 0.00082038$  mg/kg/día y  $DE_{Cd} = 0.00001048$  mg/kg/día. De lo anterior, se puede interpretar que los niños se encuentran expuestos a una mayor dosis de plomo y cadmio. Cabe mencionar que esta dosis representa únicamente la exposición por suelo, pudiendo ser mayor si se toman en cuenta otros medios como aire, agua e ingesta de alimentos<sup>(8)</sup>.

- En la Urb. Villa del Norte se encontró en adultos una  $DE_{Pb} = 0.000036$  mg/kg/día y  $DE_{Cd} = 0.000000509$  mg/kg/día, y para niños, una  $DE_{Pb} = 0.00062996$  mg/kg/día y  $DE_{Cd} = 0.00000891$  mg/kg/día, nuevamente se aprecia que los niños están expuestos a una mayor dosis de exposición que los adultos lo que coincide con otros estudios que mencionan que los niños son la población más susceptible a los metales pesados<sup>(25)</sup>.
- Como se muestra en la Tabla 23 y 24, a partir de los datos de dosis de exposición estimada, se calculó el margen de exposición relacionando el NOAEL con la DE. Para la Urb. Carabayllo se encontraron Márgenes de Exposición de plomo en adultos de 5,332,878.26 y en niños, de 304,736.83. Para el caso del cadmio, en la misma zona, se encontró para adultos y niños, un valor igual a 16,949.15 y 954.20 respectivamente. En ambos casos, se presentan valores seguros de exposición pues mientras mayor sea el Margen por encima del 1, más seguro será. Es interesante mencionar que se encuentra un mayor margen de seguridad por exposición a plomo que por cadmio. Esto debido a que el plomo no cuenta con un NOAEL y se usa un valor referencial de 250 mg/kg/día<sup>(77)</sup> el cual es un valor muy alto respecto al NOAEL del cadmio. También se observa que los márgenes de seguridad son más altos en adultos que en niños, nuevamente confirmando que los niños son la población más susceptible<sup>(25)</sup>. En el caso de la Urb. Villa del Norte se encontraron márgenes de exposición a plomo en adultos con valores de 6,944,444.44 y en niños de 396,850.59. Para el caso del cadmio, se encontraron valores en adultos de 19,646.37 y en niños, de 1,122.33. Nuevamente se observa que los niños son la población más susceptible; pero, según los valores toda la población se encuentra en márgenes seguros de exposición. Debido a que en esta zona las concentraciones

de ambos metales fueron menores a las de la Urb. Carabayllo, esta última presenta un menor margen de seguridad respecto a la Urb. Villa del Norte.

- Otro indicador utilizado fue el Índice de Peligrosidad, el cual relaciona la DE respecto a los RDf (dosis de referencia), este último es un valor calculado a partir del NOAEL utilizado para determinar dosis seguras de exposición. En la Urb. Carabayllo se determinaron valores de Índice de Peligrosidad, para plomo de 0.0078 (adultos) y 0.137 (niños). Para el caso del cadmio, se determinaron valores de 0.000098 (adultos) y 0.00175 (niños). Mientras menor sea el índice de Peligrosidad (por debajo del 1), más segura será la exposición. Es así como se determinaron niveles seguros de exposición en el caso de adultos; pero, en niños el IP no se encuentra muy por debajo del uno pudiendo representar un riesgo significativo si se evalúan otros parámetros de disponibilidad de plomo en suelo o, si se asocia el estudio con otros medios de exposición como el aire, agua o alimentos. Para el caso de la Urb. Villa del Norte se encontraron valores de Índice de Peligrosidad para plomo de 0.006 (adultos) y de 0.105 (niños). Para el caso del cadmio se encontraron valores de 0.000085 (adultos) y de 0.001485 (niños). Al igual que en la Urb. Carabayllo, se determinaron niveles seguros de exposición en el caso de adultos; pero, en niños el IP no se encuentra muy por debajo del uno pudiendo representar un riesgo significativo si se evalúan otros parámetros.

- Para el caso del plomo se evalúa el riesgo carcinógeno, el cual muestra la probabilidad que este efecto aparezca en una población. Los datos requeridos para su cálculo se muestran en las Tablas 28 y 29. Los resultados que se obtuvieron muestran que existe, en la Urb. Carabayllo, la probabilidad de que 0.0021 adultos y 0.036 niños de 5200 pobladores puedan presentar cáncer. En el caso de la Urb. Villa del Norte, se encontró una probabilidad de que 0.0046 adultos y 0.08 niños de 15,052 pobladores presenten efectos cancerígenos. Estos resultados indican niveles seguros de exposición a suelos con plomo.

## **VII. CONCLUSIONES**

1. Las concentraciones de plomo y cadmio en las muestras de suelo de la Urb.

Carabaylo son 66.97 mg/kg y 0.86 mg/kg, y en la Urb. Villa del Norte son 51.43 mg/kg y 0.73 mg/kg respectivamente. En ambas zonas las concentraciones no superan los Estándares de Calidad Ambiental para suelos de uso Residencial, cuyo valor es 140 mg/kg.

2. De acuerdo con la metodología empleada se logró caracterizar un riesgo mínimo para los adultos y niños por exposición a suelos con plomo y cadmio en las zonas aledañas al Parque Industrial Infantas en Lima -Perú, 2018. Esto debido a que el Índice de peligrosidad en ambas zonas resultó menor que 1 ( $IP < 1$ ); y el margen de exposición, mayor que 1 ( $ME > 1$ ).

## **VIII. RECOMENDACIONES**

- Realizar estudios similares asociadas a fuentes puntuales industriales de emisiones, debido a que existen muchas personas que habitan las zonas aledañas a estas fuentes y se encuentran frecuentemente expuestas a los contaminantes emitidos por medio de la exposición a suelos, agua y/o aire.
- Desarrollar más investigaciones en las zonas estudiadas que apliquen la metodología de la evaluación del riesgo toxicológico para otros medios ambientales como el aire y el agua con la finalidad de determinar la dosis total de plomo y cadmio a las que pueden estar expuestos. Asimismo, evaluar el riesgo toxicológico por la ingesta de alimentos con presencia de metales pesados y/u otros contaminantes.
- Continuar con la metodología de la evaluación del riesgo a través de la Comunicación del riesgo informando a la población sobre los posibles efectos por la exposición a metales pesados y otros contaminantes, a través de espacios para el intercambio de información como las actividades de sensibilización. Como último paso, realizar la Gestión del riesgo por medio de las políticas públicas y los instrumentos de gestión ambiental a fin de prevenir los impactos negativos en la salud y el ambiente.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ministerio de la Producción. Parques Industriales. [slide] Universidad de Trujillo: PRODUCE. 26 slides: color.
2. Ministerio del Ambiente [Internet]. Perú: Ministerio del Ambiente [citado 18 sept 2018]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-n-307-2017-minam-2/>
3. Ize, I. La evaluación del riesgo por sustancias toxicas. México: Gaceta Ecológica. Numero 69: 45-59. Instituto Nacional de Ecología; 2003.
4. Ilizaliturri C, González-Mille D, Pelallo N, Domínguez G, Mejía-Saavedra J, Torres A, et al. Revisión de las metodologías sobre evaluación de riesgos en salud para el estudio de comunidades vulnerables en América Latina. Interciencia. 2009; 34(10): 710-7.
5. Yacomelo M. Riesgo toxicológico en personas expuestas, a suelos y vegetales, con posibles concentraciones de metales pesados, en el sur del Atlántico, Colombia. [tesis de posgrado]. Colombia: Universidad Nacional de Colombia; 2014.
6. Plá A, Tarazona JV, García AJ. Evaluación de riesgos toxicológicos en ecosistemas terrestres. Revista de Toxicología. 2001; 18(3): 137-139
7. Ministerio del Ambiente. Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) en sitios contaminados. [Internet]. Perú; 2015. [15 feb 2018]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-n-034-2015-minam/guia-ersa/>.
8. ATSDR. Evaluación de riesgos a la salud por exposición a residuos peligrosos. Agency for Toxic Substance and Disease Registry. (Manual): Atlanta, EEUU; 1992.
9. National Academy of Sciences. Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. National Academy Press: Washington D.C., EE. UU; 1983.



10. Gutiérrez-Praena, Jos, Pichardo, Puerto, Sánchez-Granados, Grilo, Cameán, A. Nuevos riesgos tóxicos por exposición a nanopartículas. Revista de Toxicología [Internet]. 2009; 26(2-3):87-92. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91913002002>.
11. Díaz F. Metodología de identificación y evaluación de riesgo para la salud en sitios contaminados. OPS/CEPIS/PUB/99.34. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Mundial de la Salud., 96P; 1999.
12. IRIS [Internet]. Sistema de Información Integral de Riesgos. Obtenido de cadmio (número CAS 7440-43-9); 1978. [11 abr 2018]. Disponible en: <http://www.epa.gov/iris/subst/0141.htm>.
13. FAO. Código de alimentos, Recomendaciones del Servicio de Salud Pública de EEUU. Publicación del Servicio nacional de Información Técnica PB97-133656. Administración de Medicamentos y Alimentos; 1997.
14. Jordán A. Manual de Edafología. España; Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla; 2005.
15. Ministerio de Agricultura y riego [Internet]. Perú: Ministerio de Agricultura y Riego [citado 11 jul 2018]. Disponible en <http://www.minagri.gob.pe/portal/41-sector-agrario/recursos-naturales/316-suelo>
16. Villalaz C. Mecánica de suelos y cimentaciones. Editorial Limusa, 2004.
17. Ministerio del Ambiente [Internet]. Lima: Ministerio del Ambiente; [citado 27 nov 2018]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-011-2017-minam/>
18. Galán E, Romero A. Contaminación de suelos por metales pesados. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía. [Internet]. 2008; 10: 48-60. Disponible en: [http://www.ehu.eus/sem/macla\\_pdf/macla10/Macla10\\_48.pdf](http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf)
19. Cañizares RO. Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. Revista Latinoamericana de Microbiología [Internet]. 2000; 42: 131-143. Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2000/mi003f.pdf>

20. Prieto J, González C, Román A, Prieto F. Contaminación y Fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and subtropical agroecosystems [Internet]. 2009; 10 (1):29-44. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
21. Vullo, DL. Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. Revista Química Viva [Internet]. 2003;2(3):93-104. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/863/86320303.pdf>
22. Puga S, Sosa M, Lebgue T, Quintana C, Campos A. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. Ecología aplicada.2006; 5(1,2): 149-155.
23. ATSDR. Reseña Toxicológica del Plomo (versión actualizada) (en inglés). Agency for Toxic Substance and Disease Registry. Atlanta, EEUU: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU; 2007.
24. ATSDR. Reseña Toxicológica del Cadmio (en inglés). Agency for Toxic Substance and Disease Registry. Atlanta, EEUU: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU; 2012.
25. Astete J, Cáceres W, Gsatañaga MC, Lucero M, Sabastizagal I, Oblitas T, et al. Intoxicación por plomo y otros problemas de salud en niños de poblaciones aledañas a relaves mineros. Rev Perú med exp salud pública. 2009; 26(1): 15-19.
26. Ministerio de Energía y Minas [Internet]. Perú [citado 08 ago 2018]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minem/noticias/11948-minem-produccion-nacional-de-zinc-estano-y-cobre-registro-importante-incremento-en-mayo>.
27. Ubillus J. Estudio sobre la presencia del plomo en el medio ambiente de Talara en el año 2003. [tesis de posgrado]. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2003.
28. Sanchez G. Ecotoxicología del cadmio, riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio. [tesis de posgrado]. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2003.

29. Chung B. Control de los contaminantes químicos en el Perú. Revista Peruana Médica Experimental y Salud Publica. [Internet]. 2008; 25(4): 413-418. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v25n4/a12v25n4.pdf>
30. Villena J. Fuentes de agua y contaminación. Academia Nacional de Medicina. 2006. Disponible en: [http://www.acadnacmedicina.org.pe/publicaciones/Anales\\_2006/fuentes\\_agua\\_villena.pdf](http://www.acadnacmedicina.org.pe/publicaciones/Anales_2006/fuentes_agua_villena.pdf)
31. Osorio-García S, Hernández-Florez L, Sarmiento R., González-Álvarez Y, Perez-Castiblanco D, Barbosa-Devia M, et al. Prevalencia de mercurio y plomo en población general de Bogotá. Revista de Salud Pública [Internet]. 2014 [citado 14 Feb 2013]; 16(4): 621-628. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v16n4/v16n4a13.pdf>
32. Oriundo C, Robles J. Determinación de plomo en suelos debido a la contaminación por fábricas aledañas al asentamiento humano Cultura y Progreso del distrito de Ñaña - Chacacayo [Tesis de pregrado]. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2009.
33. PRTR-España [Internet]. España: Ministerio para la transición ecológica; [citado 14 ago 2018]. Pb (plomo y compuestos); [3]. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/Pb-Plomo-y-compuestos,15610,11,2007.html>.
34. Ministerio del Ambiente. Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes [Internet]. 1era ed. Lima: Ministerio del Ambiente; setiembre 2014. [citado 7 abr 2018]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/investigacion/registro-de-emisiones-y-transferencia-de-contaminantes-retc/>
35. García C, Moreno J, Hernández T, Polo A. Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. Ciencia y medio ambiente-CCMA-CSIC. 2002.
36. Metallstatistik, Frankfurt am Main. 75ª ed. 1988
37. Skipin L, Gaevaya E, Zaharova E, Petukhova V, Sidorova K. Biogeochemistry of heavy metals in trophic chain in terms of the south of Tumen region. Procedia Engineering. 2016; 165: 860-868.

38. Solano A. Movilización de metales pesados en residuos y suelos industriales afectados por la hidrometalurgia del cinc [Tesis de posgrado]. España: Universidad de Murcia; 2005.
39. Barrio N. Metales pesados en suelos y sus efectos sobre la salud [Trabajo fin de grado]. España: Universidad Complutense.
40. Bradl H. Adsorption of heavy metal ion son soils and soils constituents. J. Colloid Interface Sci. 2004; 277: 1-18.
41. Calace N, Deriu D, Petronio B, Pietroletti M. Adsorption isotherms and breakthrough curves to study how humic acids influence heavy metal-soil interactions. Water Air soil pollut. 2009; 204: 373-383.
42. Cala V, Kunimine Y. Distribución del plomo en suelos contaminados en el entorno de una planta de reciclaje de baterías ácidas. Rev Int Ambient. 2003; 19(3): 109-115.
43. Valdivia M. Intoxicación por plomo. Revista Sociedad Peruana de Medicina Interna. [Internet]. 2005; 18 (1): 22 – 27. Disponible en: [http://medicinainterna.org.pe/revista/revista\\_18\\_1\\_2005/Intoxicacion.pdf](http://medicinainterna.org.pe/revista/revista_18_1_2005/Intoxicacion.pdf)
44. Ascione I. Intoxicación por plomo en pediatría. Arch. Pediatr. Urug. 2001; 72(2): 133-138.
45. Ramírez A. El cuadro clínico de la intoxicación por plomo. An Fac Med. 2005; 66(1): 57-70.
46. Godwinha. The biological chemistry of lead. Curr Opin Chem Biol. 2001; 5(2): 223-227.
47. Rodriguez A, Espinal G. Niveles de plomo en sangre y factores de riesgo asociados en niños de 2 a 10 años en el barrio Villa Francisca, Santo Domingo, República Dominicana. Revista Ciencia y Sociedad. [Internet]. 2008; 33(4): 595-609. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/870/87012672005.pdf>

48. Garza A, Chávez H, Vega R, Soto E. Mecanismos celulares y moleculares de la neurotoxicidad por plomo. *Revista de Salud Mental*. [Internet]. 2005; 28(2): 48 – 58. Disponible en: <file:///H:/marco%20teorico/referencias/2005GarzaColsSaludMental-Plomo.pdf>
49. Bellunger DC. Lead. *Pediatric*. 204; 113(4): 689-694.
50. Klaassen C. Heavy metals and heavy-metal antagonists. En: Hadman J, Limbird L, Gilman A. *The pharmacological basis of therapeutics*. 10ma edición. Nueva York: McGraw Hill; 2001. 1851-1875.
51. Wakefield J. The lead effetc? *Environ health perspect*. 2002; 110(10): A574-A580.
52. Lewit-Bentley A, Rety S. EF-hand calcium-binding proteins. *Curr Opin Struct Biol*. 2000; 10(6): 637-643.
53. Agency for toxic substances and disease registry (ATSDR). *Toxicological profile for lead*. U.S. Atlanta: Department of Health and Human Services. Public Health Service. 1999
54. Ferm VH, Carpenter SJ. Developmental malformations resulting from the administration of lead salts. *Exp Mol Pathol*. 1967; 7: 208-213.
55. Jaquet P, Gerber GB. Teratogenic effects of lead in the mouse. *Biomedicine*. 1979; 30: 71-82.
56. Pounds JG, Long GJ, Rosen JF. Cellular and molecular toxicity of lead in bone. *Environmental Health Perspectives*. 1991; 91: 17-32
57. Sanín L, González-Cossío T, Romieu I, Hernández M. Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. *Salud Pública Mex*. 1998; 40: 359-368.
58. Matte TD. Efectos del plomo en la salud de la niñez. *Salud Pública Mex*. 2003; 45(2): 5220-5224.

59. González M, Trasobares E, Cano S, Oliván P, Fuentes M, Fernández C, et al. Determinación de plomo y cadmio en sangre y su relación con fuentes de exposición. *Rev Lab Clín.* 2009; 2(3): 115-123.
60. Farkas A, Erratico C, Viganó L. Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in superficial sediments of the river. *Po Chemosphere.* 2007; 68: 761-768.
61. Moulis JM, Thévenod F. New perspectives in cadmium toxicity: an introduction. *Biometals.* 2010; 23(5): 763-768.
62. Kabata-Pendias A. Traceelements in soils and plants. 3era ed. CRC Press; 2000
63. Badillo JF. Curso básico de toxicología ambiental. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. México: ECO; 1985. P 205-229
64. Azúa A, Díaz-Barriga D, Elvira J, Galindo A. Cadmio, ciclo biogeoquímico y análisis de caso de estudio: Cuenca del Río Jinzu, Japón. Universidad Autonoma San Luis de Potosí. México. 2016
65. PNUMA. Análisis del flujo de comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente. Perú; 2010.
66. Tadeo F, Gómez A. Fisiología de las plantas y el estrés. En: Azcón-Bieto J, Talón M. *Fundamentos de fisiología vegetal.* 2ª ed. Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 2008.
67. Loftis S, Spurgeon D, Svendsen C. Fractions affected and probabilistic risk assessment of Cu, Zn, Cd and Pb in soils using the free ion approach. *Environ. Sci.Technol.* 2013; 39(21): 8533-8540.
68. Lora R, Bonilla H. Remediación de un suelo de la cuenca alta del río Bogotá contaminado con los metales pesados cadmio y cromo. *Rev. U.D.C.A Act & Div.Cient.* 2010;13 (2): 61-70.

69. Contreras F, Herrera T, Izquierdo A. Efectos de dos fuentes de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) sobre la disponibilidad de cadmio para plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en suelos de Barlovento, estado Miranda. *Venesuelos*. 2011; 13: 52-63.
70. Chávez E, He Z, Stoffella P, Mylavarapu R, Li c, Baligar V. Chemicalspeciation of cadmiun:an approach to evaluate plant- availablecadmiun in Ecuadorian soils under cacao production. *Chemosphere*. 2016; 150: 57-62.
71. Ramírez A. Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina. Universidad Nacional Mayor de San Marcos* [Internet] 2002 [Citado 16 set 2015] 63(1):51-64. Disponible en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/anales/article/view/1477/1260>
72. Nava-Ruiz C, Méndez-Armenta C. Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencia*. [Internet]. 2011; 16(3): 140-147. Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/arcneu/ane-2011/ane113f.pdf>
73. Pérez P, Azcona M. Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas* [Internet]. 2012; 17(3):199-205. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/473/47324564010.pdf>
74. Ministerio del Ambiente. Guía para el muestreo de suelos. Perú: Ministerio del Ambiente; 2014.
75. Gallegos W, Vega M, Noriega P. Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida* [internet]. 2012; 15(1): 18-25. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4760473399003>.
76. Skoog D, Holler F. Principios de análisis instrumental. Madrid, España:Mc Graw Hill;2001
77. Madhvan S, Rosenman K, Shethata T. Lead in Soil: Recommended máximo permisibke levels. *Emviron. Res*. 1989; 49: 136-142.
78. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Perú: Densidad poblacional, según departamento, provincia y distrito, 2015 [Excel]. Perú: INEI.2015.

## **ANEXOS**



## **Anexo nº 1: Resultados de laboratorio**



# Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Farmacia y Bioquímica

Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental-CICOTOX



N° 85830 - 85845

## PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO

SOLICITANTE: Sr. Christopher Ynocente / Srta. Sofia Olortegui

Evaluación del riesgo toxicológico en personas expuestas a suelos con plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima-Perú

TESIS:

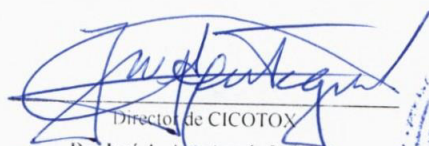
FECHA DE RECEPCIÓN: 05 de Julio de 2018 HORA: 11:00 a.m.  
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 15 de Julio de 2018 HORA: 03:40 p.m.  
FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS: 30 de Julio de 2018 HORA: 10:30 p.m.

MÉTODOS Cadmio : Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito.

Plomo : Espectrofotometría de Absorción Atómica por flama

OBSERVACIONES: La contramuestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
85830	Z1-01 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	58.069 ppm
85831		Cuantificación de Cadmio	0.67 ppm
85832	Z1-02 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	120.37 ppm
85833		Cuantificación de Cadmio	1.83 ppm
85834	Z1-03 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	62.795 ppm
85835		Cuantificación de Cadmio	1.085 ppm
85836	Z1-04 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	41.197 ppm
85837		Cuantificación de Cadmio	0.962 ppm
85838	Z1-05 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	47.987 ppm
85839		Cuantificación de Cadmio	0.761 ppm
85840	Z1-06 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	94.495 ppm
85841		Cuantificación de Cadmio	0.912 ppm
85842	Z1-07 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	25.67 ppm
85843		Cuantificación de Cadmio	0.591 ppm
85844	Z1-08 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	76.886 ppm
85845		Cuantificación de Cadmio	0.654 ppm



Director de CICOTOX  
Dr. José A. Apesteigua Infante  
Esp. Toxicología & Química Legal  
C.Q.F.P. N° 06538  
RNE 240  
D.N.I. N° 09359857



Lima, 01 de agosto de 2018

  
CAMERO A. FIGUEROA VARGAS  
DOFP: 18579

### RECOGE RESULTADO

NOMBRE: \_\_\_\_\_ FIRMA: \_\_\_\_\_  
D.N.I.: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_ HORA: \_\_\_\_\_

IMPORTANTE: Cualquier reclamo se atenderá en un plazo máximo de 30 días de recepcionado el resultado

**"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"**

Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico - Lima 1 - Perú Teléfonos: (511) 328-7700 Ap. Postal 4559 - Lima 1

E-mail: cicotox.farmacia@unmsm.edu.pe

http://farmacia.unmsm.edu.pe



# Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Farmacia y Bioquímica

Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental-CICOTOX



N° 85846 - 85861

## PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO

SOLICITANTE: Sr. Christopher Ynocente / Srta. Sofia Olortegui

Evaluación del riesgo toxicológico en personas expuestas a suelos con plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los alrededores del Parque Industrial Infantes en Lima-Perú

TESIS:

FECHA DE RECEPCIÓN: 05 de Julio de 2018 HORA: 11:00 a.m.  
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 15 de Julio de 2018 HORA: 03:40 p.m.  
FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS: 30 de Julio de 2018 HORA: 10:30 p.m.

MÉTODOS Cadmio : Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito.

Plomo : Espectrofotometría de Absorción Atómica por flama

OBSERVACIONES: La contramuestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
85846	Z1-09 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	61.136 ppm
85847		Cuantificación de Cadmio	0.734 ppm
85848	Z1-10 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	43.41 ppm
85849		Cuantificación de Cadmio	0.693 ppm
85850	Z2-01 URB VILLA DEL NORTE -TIERRA	Cuantificación de Plomo	46.04 ppm
85851		Cuantificación de Cadmio	0.663 ppm
85852	Z2-02 URB VILLA DEL NORTE -TIERRA	Cuantificación de Plomo	63.159 ppm
85853		Cuantificación de Cadmio	1.02 ppm
85854	Z2-03 URB VILLA DEL NORTE -TIERRA	Cuantificación de Plomo	64.961 ppm
85855		Cuantificación de Cadmio	0.537 ppm
85856	Z2-04 URB VILLA DEL NORTE -TIERRA	Cuantificación de Plomo	57.751 ppm
85857		Cuantificación de Cadmio	0.791 ppm
85858	Z2-05 URB VILLA DEL NORTE -TIERRA	Cuantificación de Plomo	31.607 ppm
85859		Cuantificación de Cadmio	0.693 ppm
85860	Z2-06 URB VILLA DEL NORTE -TIERRA	Cuantificación de Plomo	17.619 ppm
85861		Cuantificación de Cadmio	0.581 ppm

Director de CICOTOX

Dr. José A. Apestegui Infantes  
Esp. Toxicología & Química Legal  
C.Q.F.P N° 06538  
RNE 240  
D.N.I N° 09359857



Lima, 01 de agosto de 2018

Dr. AMÉRICO A. FIGUEROA VARGAS  
CQFP: 18579

### RECOGE RESULTADO

NOMBRE: \_\_\_\_\_

FIRMA: \_\_\_\_\_

D.N.I: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

HORA: \_\_\_\_\_

IMPORTANTE: Cualquier reclamo se atenderá en un plazo máximo de 30 días de recepcionado el resultado

**"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"**

Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico – Lima 1 – Perú Teléfonos: (511) 328-7700 Ap. Postal 4559 – Lima 1

E-mail: cicotox.farmacia@unmsm.edu.pe

http://farmacia.unmsm.edu.pe





# Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Farmacia y Bioquímica

Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental-CICOTOX



N°	85862	-	85869
----	-------	---	-------

## PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO

SOLICITANTE: Sr. Christopher Ynocente / Srta. Sofia Olortegui

TESIS: Evaluación del riesgo toxicológico en personas expuestas a suelos con plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los alrededores del Parque Industrial Infantes en Lima-Perú

FECHA DE RECEPCIÓN:	05 de Julio de 2018	HORA:	11:00	a.m.
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS:	15 de Julio de 2018	HORA:	03:40	p.m.
FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS:	30 de Julio de 2018	HORA:	10:30	p.m.

MÉTODOS Cadmio : Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito.

Plomo : Espectrofotometría de Absorción Atómica por flama

OBSERVACIONES: La contramuestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
85862	Z2-07 URB VILLA DEL NORTE -TIERRA	Cuantificación de Plomo	25.828 ppm
85863		Cuantificación de Cadmio	0.994 ppm
85864	Z2-08 URB VILLA DEL NORTE -TIERRA	Cuantificación de Plomo	43.349 ppm
85865		Cuantificación de Cadmio	0.829 ppm
85866	Z2-09 URB VILLA DEL NORTE -TIERRA	Cuantificación de Plomo	10.702 ppm
85867		Cuantificación de Cadmio	0.336 ppm
85868	Z2-10 URB VILLA DEL NORTE -TIERRA	Cuantificación de Plomo	41.288 ppm
85869		Cuantificación de Cadmio	1.035 ppm

  
Director de CICOTOX

Dr. José A. Apesteagua Infantes  
Esp. Toxicología & Química Legal  
C.Q.F.P N° 06538  
RNE 240  
D.N.I N° 09359857



Lima, 01 de agosto de 2018

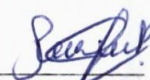
  
O.J. AMÉRICO A. FIGUEROA VARGAS  
CQFP: 18579

RECOGE RESULTADO

NOMBRE:

Sofia Olortegui Cristobal

FIRMA:



D.N.I:

4574433C

FECHA: 16/08/18

HORA:

12:34

IMPORTANTE: Cualquier reclamo se atenderá en un plazo máximo de 30 días de recepcionado el resultado

**"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"**

Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico – Lima 1 – Perú Teléfonos: (511) 328-7700 Ap. Postal 4559 – Lima 1

E-mail: cicotox.farmacia@unmsm.edu.pe

http://farmacia.unmsm.edu.pe



# Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Farmacia y Bioquímica

Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental-CICOTOX



N°	86306	-	86321
----	-------	---	-------

## PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO

SOLICITANTE: Sr. Christopher Ynocente / Srta. Sofia Olortegui

TESIS: Evaluación del riesgo toxicológico en personas expuestas a suelos con plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima-Perú

FECHA DE RECEPCIÓN: 23 de Agosto de 2018 HORA: 10:00 a.m.

FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 28 de Agosto de 2018 HORA: 09:00 p.m.

FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS: 08 de Setiembre de 2018 HORA: 11:30 p.m.

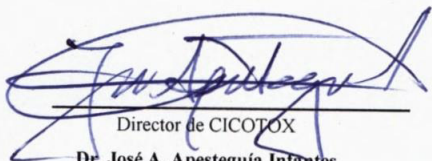
MÉTODOS Cadmio : Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito.

Plomo : Espectrofotometría de Absorción Atómica por flama

OBSERVACIONES: La contramuestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
86306	Z1-11 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	56.552 mg/Kg
86307		Cuantificación de Cadmio	0.907 mg/Kg
86308	Z1-12 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	83.311 mg/Kg
86309		Cuantificación de Cadmio	1.058 mg/Kg
86310	Z1-13 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	54.370 mg/Kg
86311		Cuantificación de Cadmio	0.610 mg/Kg
86312	Z1-14 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	86.107 mg/Kg
86313		Cuantificación de Cadmio	1.157 mg/Kg
86314	Z1-15 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	117.244 mg/Kg
86315		Cuantificación de Cadmio	0.801 mg/Kg
86316	Z1-16 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	52.995 mg/Kg
86317		Cuantificación de Cadmio	0.741 mg/Kg
86318	Z1-17 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	58.241 mg/Kg
86319		Cuantificación de Cadmio	0.565 mg/Kg
86320	Z1-18 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	84.046 mg/Kg
86321		Cuantificación de Cadmio	1.055 mg/Kg

Lima, 09 de setiembre de 2018



Director de CICOTOX  
Dr. José A. Apesteiga Infantes  
Esp. Toxicología & Química Legal  
C.Q.F.P N° 06538  
RNE 240  
D.N.I N° 09359857



  
Dr. AMERICO A. FIGUEROA VARGAS  
CQFP: 18579

## RECOGE RESULTADO

NOMBRE: \_\_\_\_\_ FIRMA: \_\_\_\_\_

D.N.I: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_ HORA: \_\_\_\_\_

IMPORTANTE: Cualquier reclamo se atenderá en un plazo máximo de 30 días de recepcionado el resultado.

**"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"**

Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico – Lima 1 – Perú Teléfonos: (511) 328-7700 Ap. Postal 4559 – Lima 1

E-mail: cicotox.farmacia@unmsm.edu.pe

http://farmacia.unmsm.edu.pe





# Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Farmacia y Bioquímica

Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental-CICOTOX



N° 86322 - 86337

## PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO

SOLICITANTE: Sr. Christopher Ynocente / Srta. Sofia Olortegui

TESIS: Evaluación del riesgo toxicológico en personas expuestas a suelos con plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima-Perú

FECHA DE RECEPCIÓN: 23 de Agosto de 2018 HORA: 10:00 a.m.

FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 28 de Agosto de 2018 HORA: 09:00 p.m.

FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS: 08 de Setiembre de 2018 HORA: 11:30 p.m.

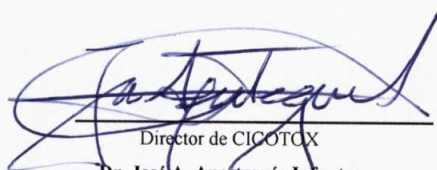
MÉTODOS Cadmio : Espectrofotometría de Absorción Atómica con Homo de Grafito.

Plomo : Espectrofotometría de Absorción Atómica por flama

OBSERVACIONES: La contramuestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
86322	Z1-19 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	42.936 mg/Kg
86323		Cuantificación de Cadmio	0.474 mg/Kg
86324	Z1-20 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	71.583 mg/Kg
86325		Cuantificación de Cadmio	0.844 mg/Kg
86326	Z2-11 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	108.174 mg/Kg
86327		Cuantificación de Cadmio	1.241 mg/Kg
86328	Z2-12 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	40.225 mg/Kg
86329		Cuantificación de Cadmio	0.835 mg/Kg
86330	Z2-13 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	32.433 mg/Kg
86331		Cuantificación de Cadmio	0.504 mg/Kg
86332	Z2-14 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	130.666 mg/Kg
86333		Cuantificación de Cadmio	0.721 mg/Kg
86334	Z2-15 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	84.213 mg/Kg
86335		Cuantificación de Cadmio	0.929 mg/Kg
86336	Z2-16 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	60.666 mg/Kg
86337		Cuantificación de Cadmio	0.545 mg/Kg

Lima, 09 de setiembre de 2018

  
Director de CICOTOX

Dr. José A. Apestegui Infantes  
Esp. Toxicología & Química Legal  
C.Q.F.P N° 06538  
RNE 240  
D.N.I N° 09359857



  
D.F. AMERICO A. FIGUEROA VARGAS  
CQFP: 18579

### RECOGE RESULTADO

NOMBRE: \_\_\_\_\_

FIRMA: \_\_\_\_\_

D.N.I: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

HORA: \_\_\_\_\_

IMPORTANTE: Cualquier reclamo se atenderá en un plazo máximo de 30 días de recepcionado el resultado.

**"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"**

Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico – Lima 1 – Perú Teléfonos: (511) 328-7700 Ap. Postal 4559 – Lima 1

E-mail: cicotox.farmacia@unmsm.edu.pe

http://farmacia.unmsm.edu.pe





# Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Farmacia y Bioquímica

Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental-CICOTOX



N°	86338	-	86345
----	-------	---	-------

## PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO

SOLICITANTE: Sr. Christopher Ynocente / Srta. Sofia Olortegui

TESIS: Evaluación del riesgo toxicológico en personas expuestas a suelos con plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima-Perú

FECHA DE RECEPCIÓN: 23 de Agosto de 2018 HORA: 10:00 a.m.

FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 28 de Agosto de 2018 HORA: 09:00 p.m.

FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS: 08 de Setiembre de 2018 HORA: 11:30 p.m.

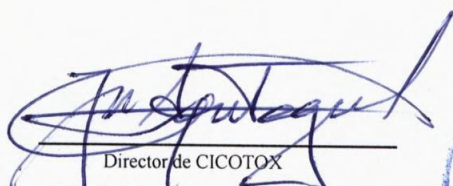
MÉTODOS Cadmio : Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito.

Plomo : Espectrofotometría de Absorción Atómica por flama

OBSERVACIONES: La contramuestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
86338	Z2-17 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	34.659 mg/Kg
86339		Cuantificación de Cadmio	0.450 mg/Kg
86340	Z2-18 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	60.478 mg/Kg
86341		Cuantificación de Cadmio	0.783 mg/Kg
86342	Z2-19 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	25.847 mg/Kg
86343		Cuantificación de Cadmio	0.434 mg/Kg
86344	Z2-20 URB CARABAYLLO -TIERRA	Cuantificación de Plomo	48.847 mg/Kg
86345		Cuantificación de Cadmio	0.634 mg/Kg

Lima, 09 de setiembre de 2018

  
Director de CICOTOX  
Dr. José A. Apesteigua Infantes  
Esp. Toxicología & Química Legal  
C.Q.F.P N° 06538  
RNE 240  
D.N.I N° 09359857



  
O.J. AMERICO A. FIGUEROA VARGAS  
GOFP; 18579

## RECOGE RESULTADO

NOMBRE: \_\_\_\_\_ FIRMA: \_\_\_\_\_

D.N.I: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_ HORA: \_\_\_\_\_

IMPORTANTE: Cualquier reclamo se atenderá en un plazo máximo de 30 días de recepcionado el resultado.

**"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"**

Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico – Lima 1 – Perú Teléfonos: (511) 328-7700 Ap. Postal 4559 – Lima 1

E-mail: cicotox.farmacia@unmsm.edu.pe

http://farmacia.unmsm.edu.pe

**Parámetros Espectró. - Pb**

Elemento:Pb

Modo Medida:Absorbancia

Long. onda:217,0nm

Rendija:0,5nm

Corriente lámp.:75%

Corrección Fondo:D2

Alta Resolución:Apagado

Optimizar Parámetros Espectró.:No

Tipo Señal:Continuo

Re-muestras:Rápido

Nº de Re-muestras:2

Tiempo Medida:2,0sg

Modo Rechazo Datos:No

Usar Test RSD : No

**Parámetros Llama - Pb**

Tipo Llama:Aire-C2H2

Flujo Combust.:1,1L/min

Oxidante Auxiliar:Apagado

Toma del Nebuliz.:2sg

Estabiliz. Mechero:0mins

Optimiz. Flujo Combust.:No

Altura Mechero:11,8mm

Optimiz Altura Mechero:No

**Parámetros muestreo - Pb**

Muestreo:Ninguna

**Parámetros Calibrac. - Pb**

Modo Calibrac.:Normal

Ajuste Lineal:Linear

Usar Calibr. Almacenada:No

Unidades Concentrac:mg/L

Unidades Escala:mg/L

Factor Escala:1,0000

Ajuste Aceptable:0,995

Re-escalar Limite: 10,0%

Acción Fallida : Señalizar y continuar

Estándar1 1,0000

Estándar4 10,0000

Estándar2 2,0000

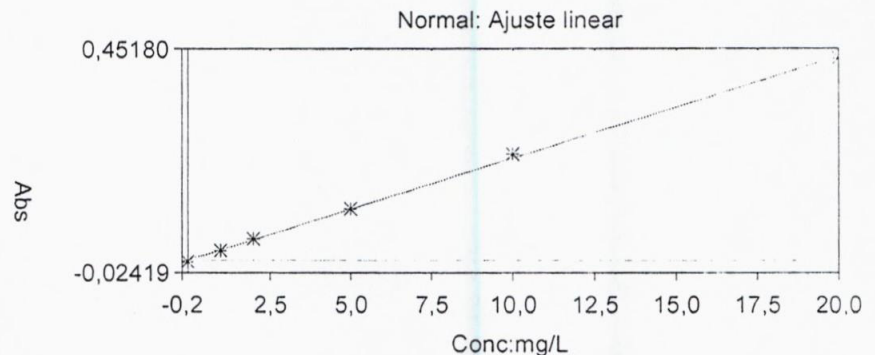
Estándar5 20,0000

Estándar3 5,0000

**Result. Disolución - Pb** $Y = 0,02166x + 0,0017$ 

Ajuste:0,9990

Conc Característica:0,2031



ID Muestra	Señal Abs	Rsd %	Conc. mg/L	Conc. Corregida mg/L
Pb Blanco	-0,003	33,4	0,0000	
Pb Estándar 1	0,021	3,1	1,0000	
Pb Estándar 2	0,046	1,6	2,0000	
Pb Estándar 3	0,111	0,7	5,0000	
Pb Estándar 4	0,227	1,3	10,0000	
Pb Estándar 5	0,430	1,5	20,0000	
Pb Muestra Blanco	-0,004	5,2	-0,2752 C	0,0000 C
Pb BLANCO RVO	-0,001	55,4	-0,1275	0,1477
Pb CONTROL	0,004	32,6	0,1003	0,3755
Pb Z1-01	0,027	0,9	1,1905	1,4658
Pb Z1-01D	0,027	0,9	1,1546	1,4298
Pb Z1-02	0,054	1,9	2,4297	2,7050
Pb Z1-02D	0,054	0,7	2,4075	2,6827
Pb Z1-03	0,029	3,6	1,2704	1,5456
Pb Z1-03D	0,029	0,4	1,2684	1,5436
Pb Z1-04	0,019	4,8	0,8047	1,0800
Pb Z1-04D	0,020	3,5	0,8517	1,1270
Pb Z1-05	0,023	2,9	0,9688	1,2441
Pb Z1-05D	0,023	2,6	0,9812	1,2564
Pb Z1-06	0,044	0,4	1,9390	2,2143
Pb Z1-06D	0,043	1,6	1,9080	2,1832
Pb Z1-07	0,013	3,0	0,5349	0,8102
Pb Z1-07D	0,013	3,1	0,5041	0,7793



**Result. Disolución - Pb**

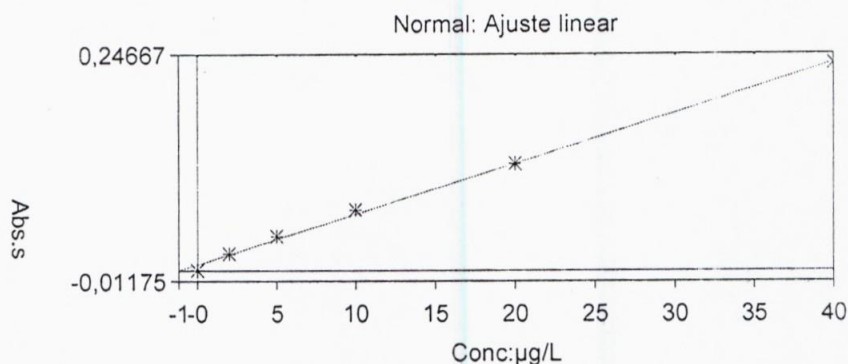
ID Muestra	Señal	Rsd	Conc.	Conc. Corregida
	Abs	%	mg/L	mg/L
Pb Z1-08	0,036	4,2	1,5705	1,8458
Pb Z1-08D	0,035	1,1	1,5584	1,8336
Pb Z1-09	0,029	3,5	1,2415	1,5167
Pb Z1-09D	0,028	2,0	1,2325	1,5078
Pb Z1-10	0,021	2,1	0,8749	1,1501
Pb Z1-10D	0,021	4,0	0,8863	1,1616
Pb CONTROL	0,004	3,4	0,1096	0,3849
Pb Z2-01	0,022	0,8	0,9237	1,1989
Pb Z2-01D	0,022	2,9	0,9366	1,2119
Pb Z2-02	0,030	0,7	1,3092	1,5845
Pb Z2-02D	0,029	2,2	1,2749	1,5501
Pb Z2-03	0,030	1,4	1,3234	1,5986
Pb Z2-03D	0,030	1,8	1,3271	1,6023
Pb Z2-04	0,027	1,9	1,1595	1,4347
Pb Z2-04D	0,027	3,7	1,1779	1,4531
Pb Z2-05	0,017	5,9	0,7287	1,0040
Pb Z2-05D	0,014	5,3	0,5518	0,8270
Pb Z2-06	0,010	3,4	0,3673	0,6425
Pb Z2-06D	0,009	11,0	0,3538	0,6290
Pb Z2-07	0,014	5,6	0,5537	0,8289
Pb Z2-07D	0,012	11,4	0,4957	0,7709
Pb Z2-08	0,021	0,7	0,8818	1,1571
Pb Z2-08D	0,020	1,5	0,8670	1,1422
Pb Z2-09	0,007	21,3	0,2342	0,5095
Pb Z2-09D	0,006	14,5	0,2026	0,4778
Pb Z2-10	0,020	1,8	0,8388	1,1140
Pb Z2-10D	0,020	6,2	0,8391	1,1143
Pb CONTROL	0,002	12,9	0,0270	0,3023
Pb ID Muestra 44	0,003	3,6	0,0400	0,3152

## Result. Disolución - Cd

$$Y = 0,00574x + 0,0067$$

Ajuste: 0,9978

Conc Característica: 0,7666



ID Muestra	Señal Abs.s (Area)	Rsd %	Conc. µg/L	Conc. Corregida µg/L
Cd Blanco	-0,000		0,0000	
Cd Estándar 1	0,019		2,0000	
Cd Estándar 2	0,039		5,0000	
Cd Estándar 3	0,069		10,0000	
Cd Estándar 4	0,121		20,0000	
Cd Estándar 5	0,235		40,0000	
Cd BLANCO RVO	0,031		4,2968	4,2968
Cd referencia QC 1	0,189 T		31,6762 T	31,6762 T
Cd Z1-01	0,085		13,6192	13,6192
Cd Z1-01D	0,084		13,4233	13,4233
Cd Z1-02	0,215		36,3351	36,3351
Cd Z1-02D	0,220		37,2150	37,2150
Cd Z1-03	0,135		22,2727	22,2727
Cd Z1-03D	0,131		21,6006	21,6006
Cd Z1-04	0,120		19,7131	19,7131
Cd Z1-04D	0,116		18,9692	18,9692
Cd Z1-05	0,092		14,8897	14,8897
Cd Z1-05D	0,099		16,0096	16,0096
Cd Z1-06	0,118		19,3517	19,3517
Cd Z1-06D	0,109		17,7791	17,7791
Cd Z1-07	0,077		12,2693	12,2693
Cd Z1-07D	0,074		11,6451	11,6451
Cd Z1-08	0,085		13,6208	13,6208
Cd Z1-08D	0,081		12,9802	12,9802
Cd Z1-09	0,104		16,9606	16,9606
Cd Z1-09D	0,080		12,7511	12,7511
Cd Z1-10	0,124		20,3646	20,3646
Cd Z1-10D	0,051		7,7961	7,7961
Cd referencia QC 1	0,183 T		30,6601 T	30,6601 T
Cd Z2-01	0,084		13,5078	13,5078
Cd Z2-01D	0,084		13,4246	13,4246
Cd Z2-02	0,116		19,0797	19,0797
Cd Z2-02D	0,137		22,6708	22,6708
Cd Z2-03	0,067		10,5797	10,5797
Cd Z2-03D	0,072		11,3350	11,3350
Cd Z2-04	0,134		22,1310	22,1310
Cd Z2-04D	0,063		9,8380	9,8380
Cd Z2-05	0,090		14,4319	14,4319
Cd Z2-05D	0,085		13,6159	13,6159
Cd Z2-06	0,080		12,7792	12,7792
Cd Z2-06D	0,070		10,9774	10,9774
Cd Z2-07	0,122		20,1161	20,1161
Cd Z2-07D	0,123		20,2573	20,2573
Cd Z2-08	0,134		22,2292	22,2292
Cd Z2-08D	0,071		11,2201	11,2201
Cd Z2-09	0,047		7,0430	7,0430

## **Anexo nº 2: Evidencias fotográficas**





Imagen 1.- Toma de muestras en la Urb. Villa del Norte - Los Olivos por el Bach. Christopher Ynocente La Valle.



Imagen 2.- Toma de muestras en la Urb. Carabaylo - Comas por el Bach. Christopher Ynocente La Valle.





Imagen 3.- Toma de muestras en la Urb. Carabayllo - Comas por la Bach. Sofía Olórtegui Cristóbal.



Imagen 4.- Toma de muestras en la Urb. Villa del Norte – Los Olivos por la Bach. Sofía Olórtegui Cristóbal.

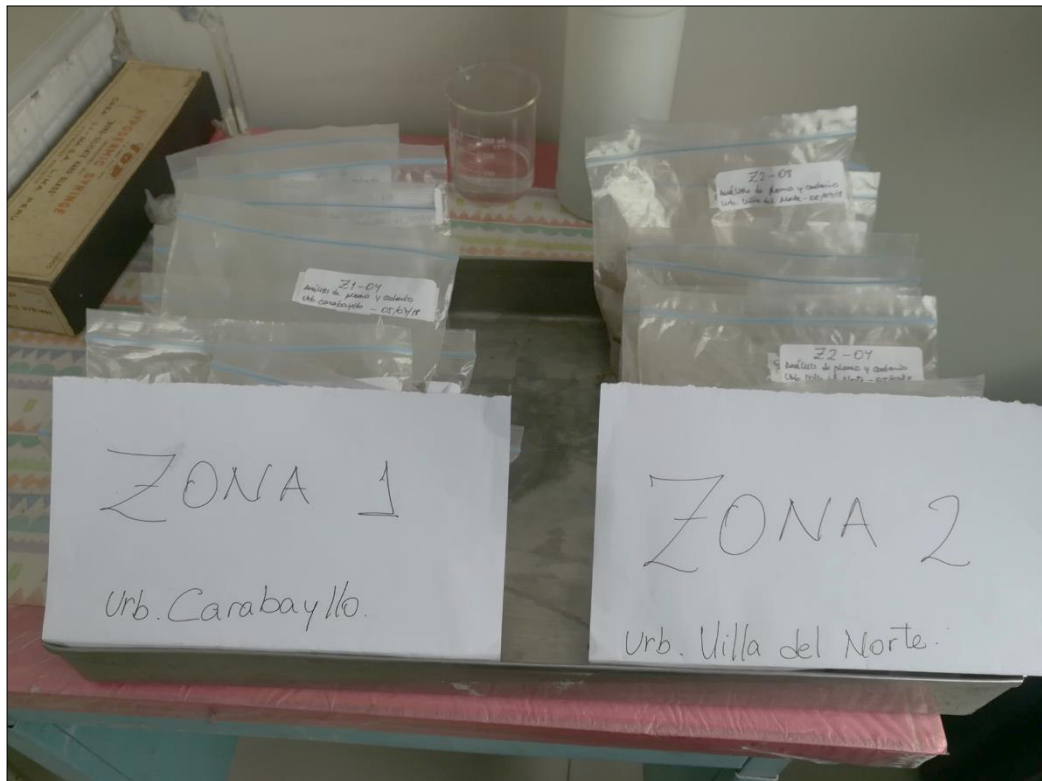


Imagen 5.- Ingreso de las muestras de suelo al Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental (CICOTOX).



Imagen 6.- Muestras de suelo para el análisis por Espectrofotometría de Absorción Atómica en el Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental (CICOTOX).

### **Anexo n° 3: Estándares de Calidad Ambiental de Perú**

AMBIENTE

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO  
Nº 003-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley Nº 28611, Ley General del Ambiente, en adelante



la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la citada Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley, establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas y es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo señalado en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 074-2001-PCM se aprueba el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, el cual tiene por objetivo establecer los ECA para Aire y los lineamientos de estrategia para alcanzarlos progresivamente;

Que, a través del Decreto Supremo N° 069-2003-PCM, se adiciona el valor anual de concentración de Plomo a los ECA para Aire establecidos en el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, aprobado por Decreto Supremo N° 074-2001-PCM;

Que, mediante Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM, se aprueban nuevos parámetros y valores en los ECA para Aire y se modifica, entre otros, el valor del Dióxido de Azufre;

Que, mediante Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM, se aprueban las disposiciones complementarias para la aplicación del ECA de Aire para el Dióxido de Azufre;

Que, a través de la Resolución Ministerial N° 205-2013-MINAM se establecen las cuencas atmosféricas a las cuales les será aplicable los numerales 2.2 y 2.3 del artículo 2 del Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado por el citado Grupo de Trabajo se ha identificado la necesidad de actualizar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para Aire;

Que, por otro lado, mediante Resolución Suprema N° 768-98-PCM, modificada por Resolución Suprema N° 588-99-PCM y Resolución Suprema N° 007-2004-VIVIENDA, se creó el Comité de Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao, con la finalidad de proponer mecanismos de coordinación interinstitucional y los cambios normativos orientados a la mejora de la calidad del aire de Lima y Callao;

Que, resulta necesario que el referido Comité se enmarque dentro de lo dispuesto en el numeral 3 del artículo 36 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo, que establece que las Comisiones Multisectoriales de

naturaleza permanente son creadas con fines específicos para cumplir funciones de seguimiento, fiscalización, o emisión de informes técnicos. Se crean formalmente mediante decreto supremo refrendado por el Presidente del Consejo de Ministros y los titulares de los Sectores involucrados. Cuentan con Reglamento Interno aprobado por Resolución Ministerial del Sector al cual están adscritas;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 094-2017-MINAM, el Ministerio del Ambiente dispuso la prepublicación del proyecto de Decreto Supremo que aprueba los ECA para aire y establece disposiciones complementarias, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad, publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

**DECRETA:**

#### **Artículo 1.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Aire**

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

#### **Artículo 2.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Aire como referente obligatorio**

21 Los ECA para Aire son un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, a cargo de los titulares de actividades productivas, extractivas y de servicios.

22 Los ECA para Aire, como referente obligatorio, son aplicables para aquellos parámetros que caracterizan las emisiones de las actividades productivas, extractivas y de servicios.

#### **Artículo 3.- Financiamiento**

El financiamiento para la aplicación de lo dispuesto en la presente norma, se realizará con cargo al presupuesto institucional de los pliegos involucrados, sin demandar recursos adicionales al Tesoro Público.

#### **Artículo 4.- Refrendo**

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, la Ministra de Salud, el Ministro de Transportes y Comunicaciones, el Ministro de Energía y Minas, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

### **DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES**

#### **Primera.- Aplicación de los ECA para Aire en los instrumentos de gestión ambiental aprobados**

La aplicación de los ECA para Aire en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Aire se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

#### **Segunda.- Monitoreo de la calidad del aire**

Mediante Decreto Supremo, a propuesta del Ministerio del Ambiente, en coordinación con las autoridades competentes, se aprobará el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, en un plazo máximo de ciento ochenta (180) días calendario, contados desde la entrada en vigencia del presente dispositivo.

En tanto se apruebe el citado Protocolo Nacional, el monitoreo de la calidad del aire se realizará conforme a la normativa vigente.

### **Tercera.- Grupos de Estudio Técnico Ambiental de Calidad del Aire**

El Ministerio del Ambiente, mediante resolución ministerial, en el plazo máximo de noventa (90) días calendario, contados desde la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, aprobará los lineamientos para fortalecer e incorporar a los Grupos de Estudio Técnico Ambiental de la Calidad del Aire en las Comisiones Ambientales Municipales (CAM) Provinciales, en el marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.

En tanto se apruebe los citados lineamientos, los Grupos de Estudio Técnico Ambiental de la Calidad del Aire continuarán ejerciendo las siguientes funciones: a) Supervisar los diagnósticos de línea base; b) Formular los planes de acción para el mejoramiento de la calidad del aire; y c) Proponer las medidas inmediatas que deban realizarse en los estados de alerta nacionales para contaminantes del aire.

### **Cuarta.- Zonas de Atención Prioritaria**

Las Zonas de Atención Prioritaria son aquellos centros poblados que cuenten con actividades económicas que planteen real o potencial afectación en la calidad del aire, que posean actividad vehicular ambientalmente relevante, o que cuenten con una dinámica urbana que implique un potencial incremento de emisiones atmosféricas.

El Ministerio del Ambiente, mediante resolución ministerial, desarrollará los lineamientos para la determinación de las Zonas de Atención Prioritaria en un plazo máximo de ciento veinte (120) días calendario, contados desde la entrada en vigencia del presente decreto supremo. Asimismo, el Ministerio del Ambiente, mediante resolución ministerial, establecerá las Zonas de Atención Prioritaria, en coordinación con las autoridades competentes, Las Zonas de Atención Prioritaria creadas con anterioridad mantienen su vigencia.

### **Quinta.- Planes de Acción para el Mejoramiento de la Calidad del Aire**

Los Planes de Acción para el Mejoramiento de la Calidad del Aire de las provincias conurbadas de Lima y el Callao, son formulados por la Comisión Multisectorial de Gestión de la Iniciativa de Aire Limpio para Lima y Callao, y aprobados por el Ministerio del Ambiente.

Los Planes de Acción para el Mejoramiento de la Calidad del Aire de las demás provincias serán aprobados mediante Ordenanza Municipal del Gobierno Local competente. En tanto se aprueben los lineamientos a los que se hacen referencia en la tercera disposición complementaria final, los Planes de Acción aprobados con anterioridad, deberán continuar con su implementación.

La Dirección General de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente realizará el seguimiento de la implementación de los Planes de Acción.

### **Sexta.- Estados de Alerta Nacionales para contaminantes del aire**

El Ministerio de Salud es la autoridad competente para declarar los Estados de Alerta Nacionales para contaminantes del aire que tengan por objeto activar, en forma inmediata, un conjunto de medidas destinadas a prevenir el riesgo a la salud y evitar la exposición excesiva de la población a los contaminantes del aire, durante episodios de contaminación aguda.

El Ministerio de Salud, en coordinación con el Ministerio del Ambiente, establece los niveles de Estados de Alerta.

### **Sétima.- Estándar de Calidad Ambiental para Aire de Mercurio Gaseoso Total**

El ECA para Aire del parámetro Mercurio Gaseoso Total, aprobado mediante el presente Decreto Supremo, entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire.

## **DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA**

### **Única.- Instrumento de gestión ambiental en trámite ante la Autoridad Competente**

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento

administrativo para aprobación del instrumento de gestión ambiental ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Aire vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Aire aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

## **DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS MODIFICATORIAS**

### **Primera.- Adecuación del Comité de Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao a Comisión Multisectorial de naturaleza permanente**

Modifícase el artículo 1 de la Resolución Suprema N° 768-98-PCM, modificada por las Resoluciones Supremas N° 588-99-PCM y N° 007-2004-VIVIENDA, así como los artículos 2, 3 y 4 de la Resolución Suprema N° 007-2004-VIVIENDA, e incorpórase el artículo 5 en la Resolución Suprema N° 007-2004-VIVIENDA, los mismos que quedan redactados conforme al siguiente texto:

**“Artículo 1.-** Constituir la Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao, la cual está adscrita al Ministerio del Ambiente e integrado por:

- El/la Viceministro (a) de Gestión Ambiental del Ministerio del Ambiente, quien lo presidirá.
- El/la Director(a) General de Asuntos Ambientales de Industria del Ministerio de la Producción.
- El/la Director(a) General de Asuntos Ambientales Pesqueros y Acuícolas del Ministerio de la Producción.
- El/la Director(a) General de Asuntos Ambientales Energéticos del Ministerio de Energía y Minas.
- El/La Director(a) General de la Dirección General de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente.
- El/La Director(a) General de la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- El/La Director(a) General de la Dirección General de Transporte Terrestre del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- El/La Director(a) General de la Dirección General de Asuntos Socio-Ambientales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- El/La Director(a) General de la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria del Ministerio de Salud.
- El/La Presidente(a) Ejecutivo(a) del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI.
- Dos representantes de la Municipalidad Metropolitana de Lima.
- Dos representantes de la Municipalidad Provincial del Callao.
- Dos representantes de la Confederación Nacional de Instituciones Empresariales Privadas - CONFIEP.
- Un representante de la Asociación Peruana de Consumidores y Usuarios - ASPEC.

Los representantes podrán acreditar ante la Secretaría Técnica a sus representantes alternos.

La Comisión podrá convocar, a personas naturales o jurídicas de derecho privado o público, a participar en sus reuniones, de acuerdo a la materia a ser tratada”.

### **“Artículo 2.- Creación de la Secretaría Técnica**

Créase la Secretaría Técnica de la Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao, la cual dependerá del Viceministerio de Gestión Ambiental.”

### **“Artículo 3.- Reglamento Interno**

La Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao, formulará su Reglamento Interno, el cual será aprobado mediante

Resolución Ministerial expedida por el Ministerio del Ambiente.”

#### “Artículo 4.- Finalidad

La Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao emitirá los informes técnicos que contengan las propuestas de mecanismos de coordinación interinstitucional y las modificaciones normativas orientadas a mejorar la calidad del aire de Lima y Callao.”

#### “Artículo 5.- Financiamiento

El cumplimiento de las funciones de la Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao se financia con cargo al presupuesto institucional del Ministerio del Ambiente, sin demandar recursos adicionales al Tesoro Público. Asimismo, los gastos que pueda involucrar la participación de los representantes de la citada Comisión Multisectorial se financian con cargo al presupuesto de las entidades a las cuales pertenecen”.

#### Segunda.- Modificación del Reglamento Interno de la Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao

Mediante Resolución Ministerial emitida por el Ministerio del Ambiente, en el plazo máximo de treinta (30) días hábiles contados desde la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, la Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao modificará su Reglamento Interno, aprobado por Resolución Ministerial N° 229-2013-VIVIENDA.

#### DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA

#### Única.- Derogación de normas referidas al ECA para Aire

Derógase el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, el Decreto Supremo N° 069-2003-PCM, el Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM y el Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD  
Presidente de la República

ELSA GALARZA CONTRERAS  
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES  
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ CALDERÓN  
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA  
Ministra de Salud

BRUNO GIUFFRÀ MONTEVERDE  
Ministro de Transportes y Comunicaciones

EDMER TRUJILLO MORI  
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

#### Anexo Estándares de Calidad Ambiental para Aire

Parámetros	Período	Valor [µg/m <sup>3</sup> ]	Criterios de evaluación	Método de análisis <sup>[1]</sup>
Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM <sub>2,5</sub> )	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM <sub>10</sub> )	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg) <sup>[2]</sup>	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman.  (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O <sub>3</sub> )	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM <sub>10</sub>	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM <sub>10</sub> (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No Exceder.

<sup>[1]</sup> o método equivalente aprobado.

<sup>[2]</sup> El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseoso Total entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, de conformidad con lo establecido en la Séptima Disposición Complementaria Final del presente Decreto Supremo.

## Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

### DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

#### CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

#### DECRETA:

##### Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

##### Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

##### Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

#### 3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

##### a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

##### - A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

##### - A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

##### - A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

##### b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:



**- B1. Contacto primario**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

**- B2. Contacto secundario**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

**3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales**

**a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

**b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

**c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

**d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

**3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**

**a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

**- Agua para riego no restringido**

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

**- Agua para riego restringido**

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón); y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

**b) Subcategoría D2: Bebida de animales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

**3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

**a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

**b) Subcategoría E2: Ríos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

**- Ríos de la costa y sierra**

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

**- Ríos de la selva**

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

**c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos**

**- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

**- Marinos**

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precísese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

**Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua**

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

**Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio**

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

52 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

#### **Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua**

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

#### **Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla**

71 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

72 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

73 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

#### **Artículo 8.- Sistematización de la información**

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

#### **Artículo 9.- Refrendo**

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

#### **DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES**

##### **Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados**

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

##### **Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua**

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

##### **Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas**

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

#### **DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS**

##### **Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente**

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

##### **Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas**

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

##### **Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados**

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA  
DEROGATORIA**

**Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua**  
Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD  
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN  
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS  
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES  
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN  
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA  
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI  
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

**ANEXO**

**Categoría 1: Poblacional y Recreacional**

**Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(µS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Trióxido de Arsénico (As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) (c)	mg/L	50	50	50
Trióxido de Azufre (SO <sub>3</sub> ) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C <sub>6</sub> -C <sub>40</sub> )	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	( e )	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 <sup>6</sup>	<5x10 <sup>6</sup>

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).  
(b) Después de la filtración simple.  
(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).



(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N ( $\text{NO}_2^-$ -N), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos ( $\text{NO}_2$ ).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodiclorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Conc. Bromoformo}}{\text{Estándar Bromoformo}} + \frac{\text{Conc. Cloroformo}}{\text{Estándar Cloroformo}} + \frac{\text{Conc. Dibromoclorometano}}{\text{Estándar Dibromoclorometano}} + \frac{\text{Conc. Bromodiclorometano}}{\text{Estándar Bromodiclorometano}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y  
ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodiclorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares.  
Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 1:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	10	**
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

**Nota 2:**

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO <sub>3</sub> -) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoniaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub>-).

(d) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

**Área Restringida:** Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 3:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoniaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH<sub>3</sub>).

**Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH<sub>3</sub>)**

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

**Nota:**

(\*)El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(\*\*)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH<sub>3</sub>).

**Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
<b>ORGÁNICO</b>				
<b>Bifenilos Policlorados</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
<b>PLAGUICIDAS</b>				
Paratión	µg/L	35		35
<b>Organoclorados</b>				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
<b>Carbamato</b>				
Aldicarb	µg/L	1		11
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

(a) : Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) : Después de filtración simple.

(c) : Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 4:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO <sub>3</sub> -) (C)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Carbamato</b>						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
<b>MICROBIOLÓGICO</b>						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

- (a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).  
 (b) Después de la filtración simple.  
 (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ( $\text{NO}_3^-$ -N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).  
 Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 5:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
  - Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.
- (1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de  $\text{NH}_3$ ) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- (2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de  $\text{NH}_3$ ).

**Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de  $\text{NH}_3$ )**

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
<b>Salinidad 10 g/kg</b>								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,60	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00
7,4	17,00	12,00	7,80	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,60	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,80	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
<b>Salinidad 20 g/kg</b>								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
<b>Salinidad 30 g/kg</b>								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	3,10	1,80	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8,8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

**Notas:**

(\*)El estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(\*\*)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N ( $\text{NH}_3$ -N), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

**NOTA GENERAL:**

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.
- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

Que, de conformidad con lo previsto en el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la Publicidad, Publicación de Proyectos Normativos y Difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS, y el artículo 39 del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM; corresponde disponer la publicación de la propuesta de metodología en el Diario Oficial El Peruano, antes de la fecha prevista para su entrada en vigencia, con la finalidad de permitir a las personas interesadas formular los comentarios y aportes respectivos;

Con los vistos de la Secretaría General, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la Oficina de Asesoría Jurídica, y en uso de las facultades conferidas en la Ley de Recursos Hídricos, el Reglamento de Organización y Funciones de esta autoridad, aprobado por Decreto Supremo N° 06-2010-AG, y modificado por Decreto Supremo N° 012-2016-MINAGRI;

#### SE RESUELVE:

**Artículo 1.-** Dispóngase la publicación de la presente resolución en el Diario Oficial El Peruano y del documento denominado "Metodología para la determinación del índice de calidad de agua para los recursos hídricos superficiales en el Perú ICA-PE", en el portal web de la Autoridad Nacional del Agua: [www.ana.gob.pe](http://www.ana.gob.pe), por el plazo de quince (15) días hábiles, a fin que los interesados remitan sus opiniones y sugerencias a la dirección electrónica siguiente: [IndiceCalidadAgua@ana.gob.pe](mailto:IndiceCalidadAgua@ana.gob.pe).

**Artículo 2.-** Encargar a la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la recepción y análisis de los aportes y comentarios que se presenten respecto al documento citado en el artículo precedente.

Regístrese, comuníquese y publíquese,

ABELARDO DE LA TORRE VILLANUEVA  
Jefe  
Autoridad Nacional del Agua

1593024-1

## AMBIENTE

### Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

**Decreto Supremo  
N° 011-2017-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

#### CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo con lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, según lo dispuesto en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA, las que serán remitidas a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante decreto supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, esta entidad tiene como función específica elaborar los ECA, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante decreto supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM se aprueban los ECA para Suelo y, a través del Decreto Supremo N° 002-2014-MINAM se aprueban las disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 013-2015-MINAM se dictan las reglas para la presentación y evaluación del Informe de Identificación de Sitios Contaminados;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado

— DIARIO OFICIAL DEL BICENTENARIO —

  
**El Peruano**

### REQUISITO PARA PUBLICACIÓN DE NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS

Se comunica a las entidades que conforman el Poder Legislativo, Poder Ejecutivo, Poder Judicial, Organismos constitucionales autónomos, Organismos Públicos, Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales, que para efectos de la publicación de sus disposiciones en general (normas legales, reglamentos jurídicos o administrativos, resoluciones administrativas, actos de administración, actos administrativos, etc) con o sin anexos, que contengan más de una página, se adjuntará un CD o USB en formato Word con su contenido o éste podrá ser remitido al correo electrónico [normaslegales@editoraperu.com.pe](mailto:normaslegales@editoraperu.com.pe).

LA DIRECCIÓN



de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, siendo una de sus funciones específicas, analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental del país;

Que, en mérito a la evaluación técnica realizada por el citado Grupo de Trabajo, se identificó la necesidad de actualizar los ECA para Suelo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 182-2017-MINAM, el Ministerio del Ambiente dispuso la prepublicación del proyecto de Decreto Supremo que aprueba los ECA para Suelo, en cumplimiento del artículo 39 del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad, publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú; la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo; el Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente; y la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente;

DECRETA:

#### **Artículo 1.- Aprobación de los estándares de calidad Ambiental para Suelo**

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, que como Anexo forman parte integrante del presente decreto supremo.

#### **Artículo 2.- Los estándares de calidad Ambiental para Suelo como referente obligatorio**

Los ECA para Suelo constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios.

#### **Artículo 3.- De la superación de los ecA para Suelo**

De superarse los ECA para Suelo, en aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios, las personas naturales y jurídicas a cargo de estas deben realizar acciones de evaluación y, de ser el caso, ejecutar acciones de remediación de sitios contaminados, con la finalidad de proteger la salud de las personas y el ambiente.

Lo indicado en el párrafo anterior no aplica cuando la superación de los ECA para Suelo sea inferior a los niveles de fondo, los cuales proporcionan información acerca de las concentraciones de origen natural de las sustancias químicas presentes en el suelo, que pueden incluir el aporte de fuentes antrópicas no relacionadas al sitio en evaluación.

#### **Artículo 4.- refrendo**

El presente decreto supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, la Ministra de Energía y Minas, el Ministro de Salud, el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento, el Ministro de la Producción, el Ministro de Transportes y Comunicaciones, y el Ministro de Agricultura y Riego.

#### **DISpoSicIoNeS compLemeNtAriAS FINALEs**

#### **primera.- criterios para la gestión de sitios contaminados**

Mediante decreto supremo, a propuesta del Ministerio del Ambiente y en coordinación con los sectores competentes, se aprobarán los criterios para la gestión de sitios contaminados, los mismos que regulan las acciones señaladas en el artículo 3 del presente decreto supremo.

#### **Segunda.- Aplicación del ecA para Suelo en los instrumentos de gestión ambiental aprobados**

La aplicación de los ECA para Suelo en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Suelo se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial correspondiente.

#### **DISpoSicIoNeS compLemeNtAriAS trANSItorIAS**

#### **primera.- Instrumento de gestión ambiental en trámite ante la Autoridad competente**

Los/as titulares que, antes de la entrada en vigencia de la presente norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Suelo vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los/as titulares deberán considerar lo establecido en la Segunda Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Suelo aprobados mediante el presente decreto supremo.

#### **Segunda.- De los procedimientos en trámite para la adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a los ecA**

Los procedimientos de adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a los estándares de calidad ambiental (ECA), iniciados con anterioridad a la vigencia del presente decreto supremo, se resuelven conforme a las disposiciones normativas vigentes al momento de su inicio.

#### **DISpoSicIóN compLemeNtAria DeroGatoria**

#### **Única.- Derogación**

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, y el Decreto Supremo N° 003-2014-MINAM, que aprueba la Directiva que establece el procedimiento de adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a nuevos Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, al primer día del mes de diciembre del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD  
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN  
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS  
Ministra del Ambiente

CAYETANA ALJOVÍN GAZZANI  
Ministra de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ CALDERÓN  
Ministro de la Producción

FERNANDO ANTONIO D'ALESSIO IPINZA  
Ministro de Salud

BRUNO GIUFFRÀ MONTEVERDE  
Ministro de Transportes y Comunicaciones

CARLOS RICARDO BRUCE MONTES DE OCA  
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO  
ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO

Parámetros en mg/kg PS <sup>(2)</sup>	Usos del Suelo <sup>(1)</sup>			Métodos de ensayo <sup>(7) y (8)</sup>
	Suelo Agrícola <sup>(3)</sup>	Suelo Residencial/ Parques <sup>(4)</sup>	Suelo Comercial <sup>(5)/ Industrial/ Extractivo<sup>(6)</sup></sup>	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 <sup>(9)</sup> EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos <sup>(10)</sup>	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fracción de hidrocarburos F1 <sup>(11)</sup> (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 <sup>(12)</sup> (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 <sup>(13)</sup> (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB <sup>(14)</sup>	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total <sup>(15)</sup>	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 <sup>(16)</sup>
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/ó ISO 17690:2015

**Notas:**

[\*\*] Este símbolo dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para el uso de suelo agrícola.

(1) **Suelo:** Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

(2) **PS:** Peso seco.

(3) **Suelo agrícola:** Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.

(4) **Suelo residencial/parques:** Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.

(5) **Suelo comercial:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.

(6) **Suelo industrial/extractivo:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.

(7) Métodos de ensayo estandarizados vigentes o métodos validados y que cuenten con la acreditación nacional e internacional correspondiente, en el marco del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de la *International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC)*. Los métodos de ensayo deben contar con límites de cuantificación que estén por debajo del ECA



- correspondiente al parámetro bajo análisis.
- (8) Para aquellos parámetros respecto de los cuales no se especifican los métodos de ensayo empleados para la determinación de las muestras, se deben utilizar métodos que cumplan con las condiciones señaladas en la nota (7).
- (9) **EPA:** Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency, por sus siglas en inglés).
- (10) Este parámetro comprende la suma de Xilenos: o-xileno, m-xileno y p-xileno. En el respectivo informe de ensayo se debe reportar la suma de los Xilenos, así como las concentraciones y límites de cuantificación de los tres (3) isómeros de manera individual.
- (11) **Fracción de hidrocarburos F1 o fracción ligera:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen entre seis y diez átomos de carbono (C6 a C10). Los hidrocarburos de fracción ligera deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, solventes, gasolinas, gas nafta, entre otros.
- (12) **Fracción de hidrocarburos F2 o fracción media:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a diez y hasta veintiocho átomos de carbono (>C10 a C28). Los hidrocarburos fracción media deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasóleo, diesel, turbosina, queroseno, mezcla de creosota, gasolvente, gasolinas, gas nafta, entre otros.
- (13) **Fracción de hidrocarburos F3 o fracción pesada:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a veintiocho y hasta cuarenta átomos de carbono (>C28 a C40). Los hidrocarburos fracción pesada deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, parafinas, petrolatos, aceites del petróleo, entre otros.
- (14) Suma de siete PCB indicadores: PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 y PCB 180.
- (15) De acuerdo con la metodología de Alberta Environment (2009): *Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health*. ISBN No. 978-0-7785-7691-4. En el caso de sitios con presencia de baritina se podrán aplicar los valores establecidos para *Bario total real* en la Tabla 1. Un sitio con presencia de baritina se determina cuando todas las muestras de suelo cumplen con los valores establecidos para *Bario extraíble*, de acuerdo con lo indicado en la tabla 1.

tabla 1. Valores para bario en sitios con presencia de baritina<sup>(a)</sup>

Parámetros en mg/kg PS	Uso del suelo		
	Suelo Agrícola <sup>(b)</sup>	Suelo Residencial/ Parques <sup>(c)</sup>	Suelo Comercial <sup>(d)</sup> / Industrial/ Extractivo <sup>(e)</sup>
Bario extraíble <sup>(i)</sup> (Extractable Barium)	250	250	450
Bario total real en sitios con presencia de baritina <sup>(i)</sup> (True total Barium at Barite Sites)	10 000	10 000	15 000 <sup>(ii)</sup> 140 000 <sup>(ii)</sup>

Notas:

- (a) A efectos de aplicar los valores establecidos para el Bario total, *Bario extraíble* o *Bario total real* en sitios con presencia de baritina, corresponde utilizar el procedimiento detallado por Alberta Environment (2009). *Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health*. ISBN N° 978-0-7785-7691-4.
- (b) **Suelo agrícola:** Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.
- (c) **Suelo residencial/parques:** Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.
- (d) **Suelo comercial:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.
- (e) **Suelo industrial/extractivo:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o

- aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.
- (f) Se determina mediante la medición en solución extractora 0,1 M CaCl<sub>2</sub>, de acuerdo con la metodología establecida por Alberta Environment (2009). *Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health*. ISBN N° 978-0-7785-7691-4.
- (g) Valores aplicables en sitios que cumplen con las concentraciones de Bario extraíble. La concentración del Bario total real se determina mediante las técnicas de fusión XRF o por fusión ICP, de acuerdo con la metodología establecida por Alberta Environment (2009). *Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health*. ISBN N° 978 0 7785-7691-4.
- (h) Suelo comercial.
- (i) Suelo industrial/extractivo.
- (16) **dIN:** Instituto Alemán de Normalización (Deutsches Institut für Normung, por sus siglas en alemán).

1593392-5

Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados

Decreto Supremo  
N° 012-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú, establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, señala que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la citada Ley;

Que, en virtud del numeral 16.2 del artículo 16 de la Ley, los instrumentos de gestión ambiental constituyen medios operativos que son diseñados, normados y aplicados con carácter funcional o complementario para efectivizar el cumplimiento de la Política Nacional Ambiental y las normas ambientales que rigen en el país;

Que, asimismo, según lo dispuesto por el numeral 17.2 del artículo 17 de la Ley, los planes de remediación constituyen un tipo de instrumento de gestión ambiental;

Que, el numeral 30.1 del artículo 30 de la Ley, referido a los planes de descontaminación y el tratamiento de pasivos ambientales, señala que estos están dirigidos a remediar impactos ambientales originados por uno o varios proyectos de inversión o actividades, pasados o presentes; asimismo, precisa que los citados planes deben considerar el financiamiento y las responsabilidades que correspondan a los titulares de las actividades contaminantes, incluyendo la compensación por los daños generados, bajo el principio de responsabilidad ambiental;

Que, de conformidad con el numeral 30.2 del artículo 30 de la Ley, las entidades con competencias ambientales promueven y establecen planes de descontaminación y recuperación de ambientes degradados, y la Autoridad Ambiental Nacional establece los criterios para su elaboración;